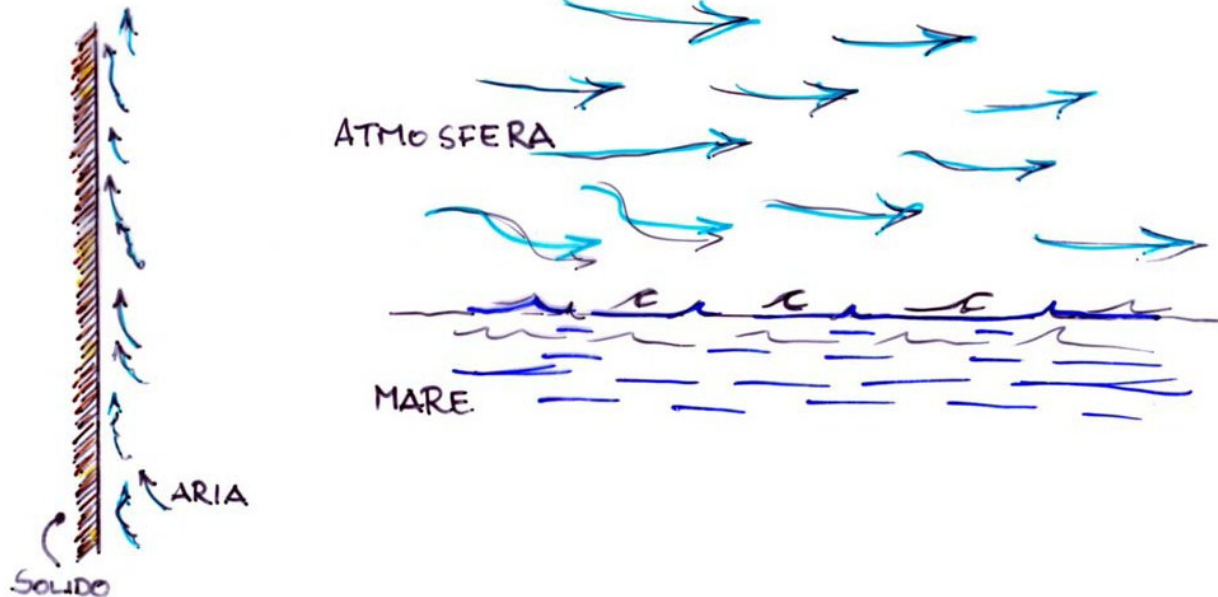
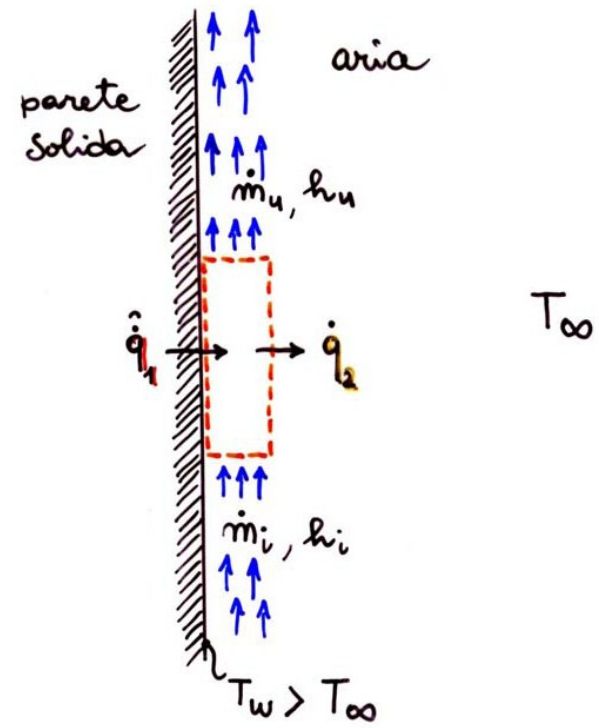


SCAMBIO TERMICO PER CONVEZIONE

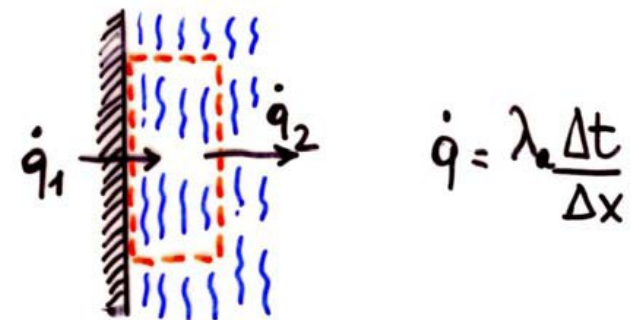
- Almeno uno dei due corpi che si scambiano calore è un fluido;
- Il fluido sia in moto relativo rispetto all'altro corpo con cui scambia calore;
- La parte essenziale del fenomeno avviene in seno al fluido in uno spazio limitato che ha inizio all'interfaccia tra i due corpi e fine ad una distanza che dipende dal caso in esame ma che è comunque alquanto ridotta.



Al trasporto di energia dovuto alle interazioni molecolari si somma il moto di materia che veicola tale energia nello spazio.



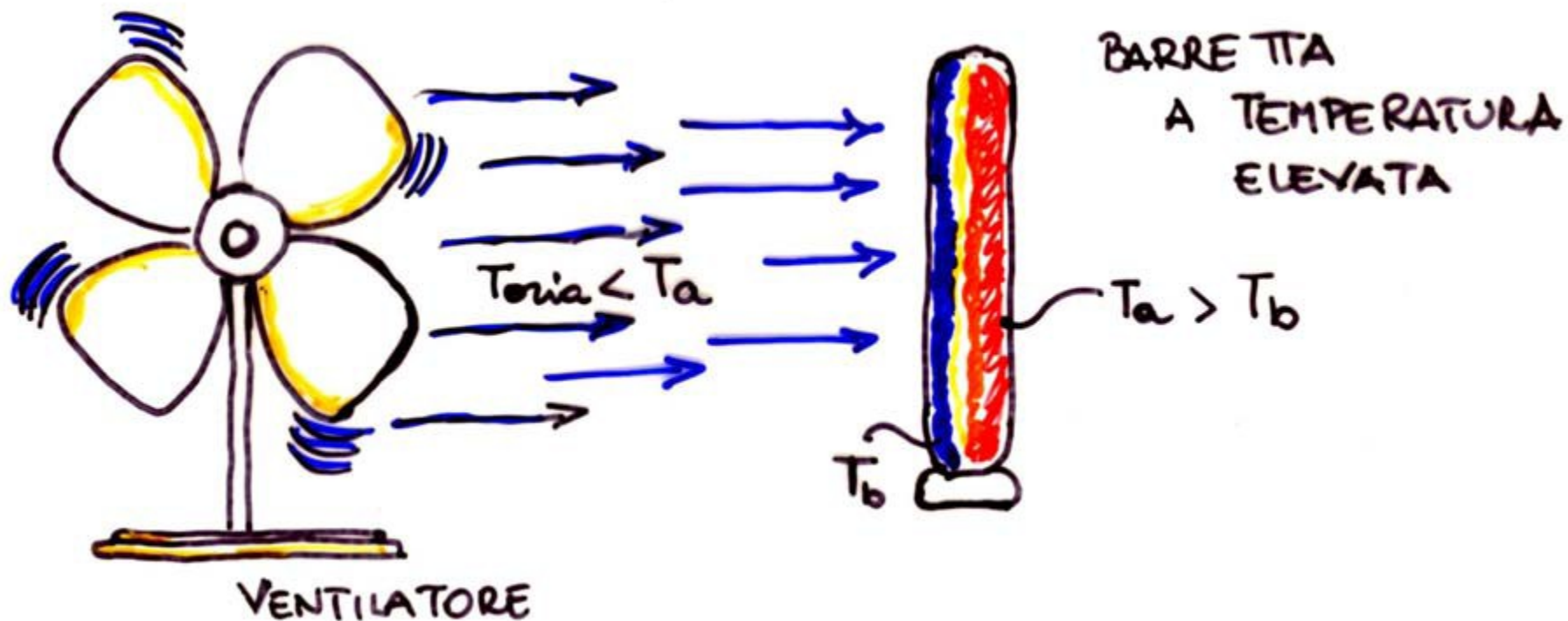
Se il fluido restasse fermo il meccanismo di trasmissione del calore al suo interno sarebbe quello di conduzione. Ciò accadrebbe in assenza di gravità.



Il moto del fluido può avere cause differenti:

- causato da dispositivi meccanici (ventilatori, pompe ecc.) o fenomeni naturali (vento, correnti marine ecc.) che **impongono al fluido una certa velocità:**

la convezione viene allora detta forzata



Il moto del fluido può avere cause differenti:

- generato proprio dallo scambio termico in corso che, modificando la densità del fluido, origina uno spostamento di massa per il fatto che volumi di fluido con più bassa densità tendono a salire, viceversa volumi di fluido a più alta densità tendono a scendere.

la convezione viene allora detta naturale



CENNI AL MOTO DEI FLUIDI

Il moto di un fluido può avvenire secondo due modalità differenti in corrispondenza delle quali i regimi di flusso vanno rispettivamente sotto il nome di regime laminare e regime turbolento.

moto laminare:

- il fluido procede in modo ordinato e regolare;
- è possibile identificare delle linee di flusso;
- non si ha mescolamento tra parti diverse;
- in ogni punto del fluido e per ogni istante di tempo si ha un ben determinato valore numerico delle diverse grandezze fisiche che lo caratterizzano (T , p ,);

In genere l'ordine viene dettato da una superficie solida che "organizza" nelle sue vicinanze il moto delle molecole fluide;

moto turbolento:

- le traiettorie del fluido sono irregolari il moto è "**vorticoso**";
- non si riesce ad identificare delle linee di flusso;
- si ha un continuo mescolamento tra masse di fluido di zone differenti;
- le grandezze fisiche locali variano nel tempo e nello spazio senza seguire leggi determinabili.



L'instaurarsi di uno o l'altro regime di moto è legato alla particolare condizione del sistema in esame ossia a:

- proprietà fisiche del fluido - densità ρ , viscosità μ ;
- velocità del fluido w ;
- rugosità superficiale del solido della superficie con cui il fluido è a contatto;
- caratteristiche geometriche del sistema, (d);

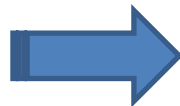
Lo svilupparsi della turbolenza è vincolato al rapporto tra forze di inerzia e forze viscosi: se questo è a favore delle prime, il regime di moto che si instaura è turbolento.

il regime di moto può essere individuato da **un parametro adimensionale che tiene conto di tutte queste grandezze e che corrisponde proprio al rapporto tra forze di inerzia e forze viscosi ossia dal numero di Reynolds:**

$$Re = \frac{\rho d w}{\mu}$$

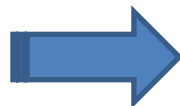
In linea generale:

alti valori di Reynolds



moto turbolento

bassi valori di Reynolds



moto laminare

Viscosità dinamica μ e cinematica ν

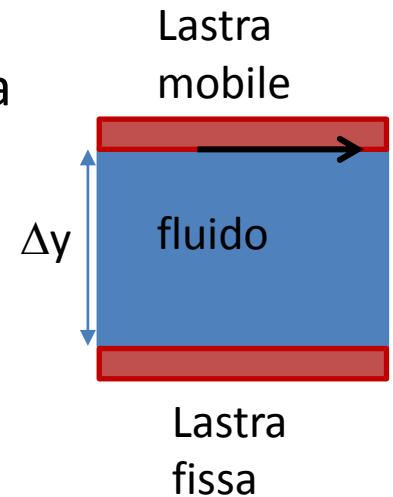
- La viscosità dinamica μ è una grandezza che quantifica la resistenza dei fluidi allo scorrimento, quindi la *coesione interna* del fluido.

$$\tau = \mu \Delta v / \Delta y$$

- Dipende dal tipo di fluido e dalla temperatura
- Nei liquidi la viscosità decresce all'aumentare della temperatura, nei gas invece cresce.
- Il rapporto tra viscosità dinamica di un fluido e la sua densità è detto viscosità cinematica e si indica con ν :

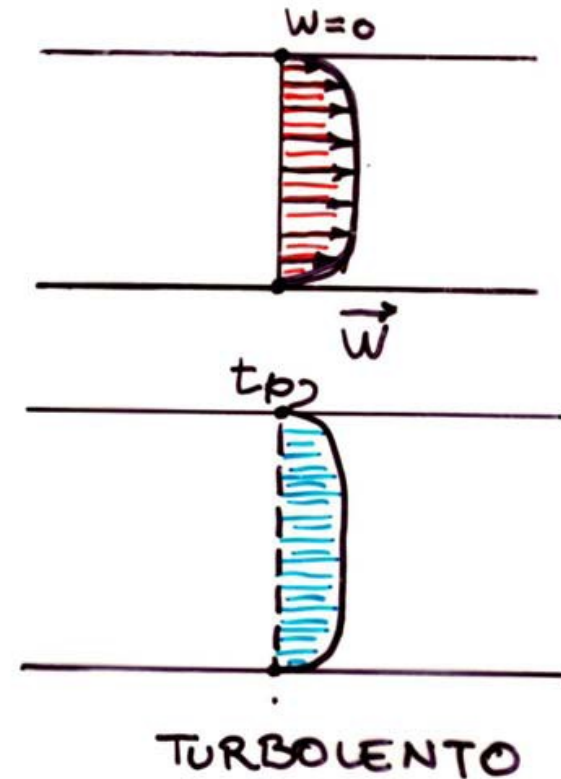
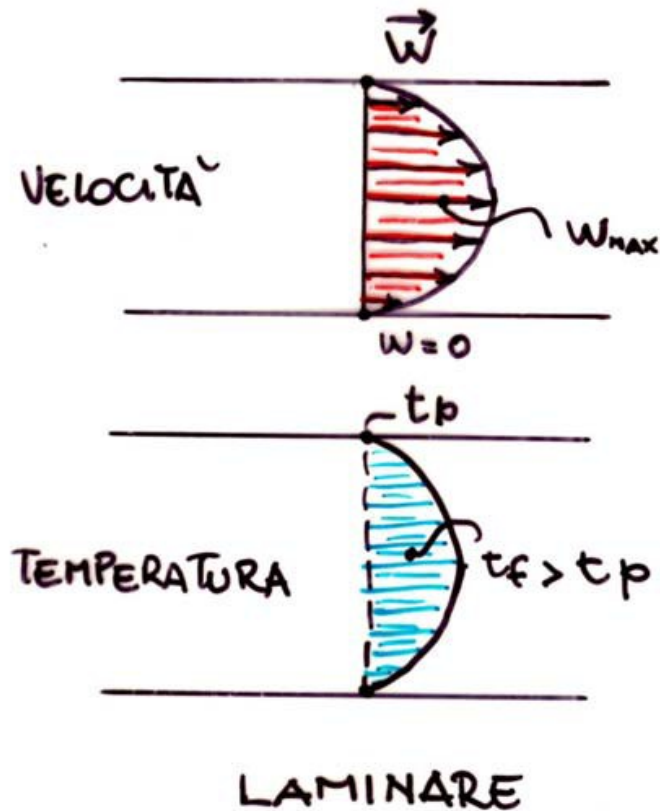
$$\nu = \mu / \rho$$

- La viscosità cinematica è una misura della resistenza a scorrere di una corrente fluida sotto l'influenza della forza di gravità. Questa tendenza dipende sia dalla viscosità dinamica che dalla densità del fluido.



Alcune conseguenze del regime di moto:

Nel moto di un fluido dentro una tubazione l'effetto del contributo turbolento rende i profili di velocità e temperatura più uniformi.



Il gradiente di velocità (ed il valore dello sforzo tangenziale τ) nella zona vicina alla superficie è molto più elevato nel caso turbolento che in quello laminare.

Nel **moto turbolento**:

- i gradienti più elevati rendono più consistente lo scambio termico vicino alla superficie.
- il moto turbolento è pertanto maggiormente desiderabile in applicazioni ingegneristiche.
- L'aumento dello sforzo tangenziale τ richiede un aumento della potenza richiesta per le pompe o i ventilatori.

Il concetto di strato limite

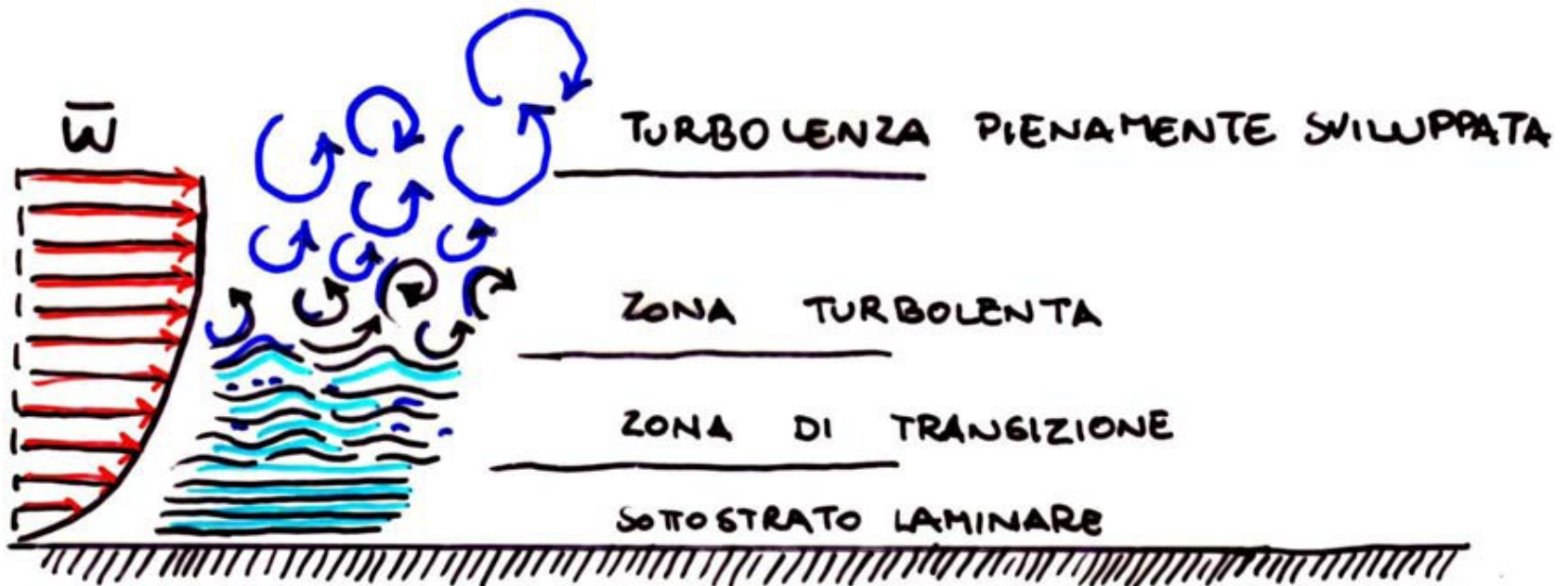
L. Prandtl (1875-1953) all'inizio di questo secolo propose di limitarsi nell'affrontare l'analisi del moto dei fluidi a studiare in maniera dettagliata solo quello che avviene alle interfacce del fluido dal momento che i fenomeni più interessanti avvengono proprio lì:

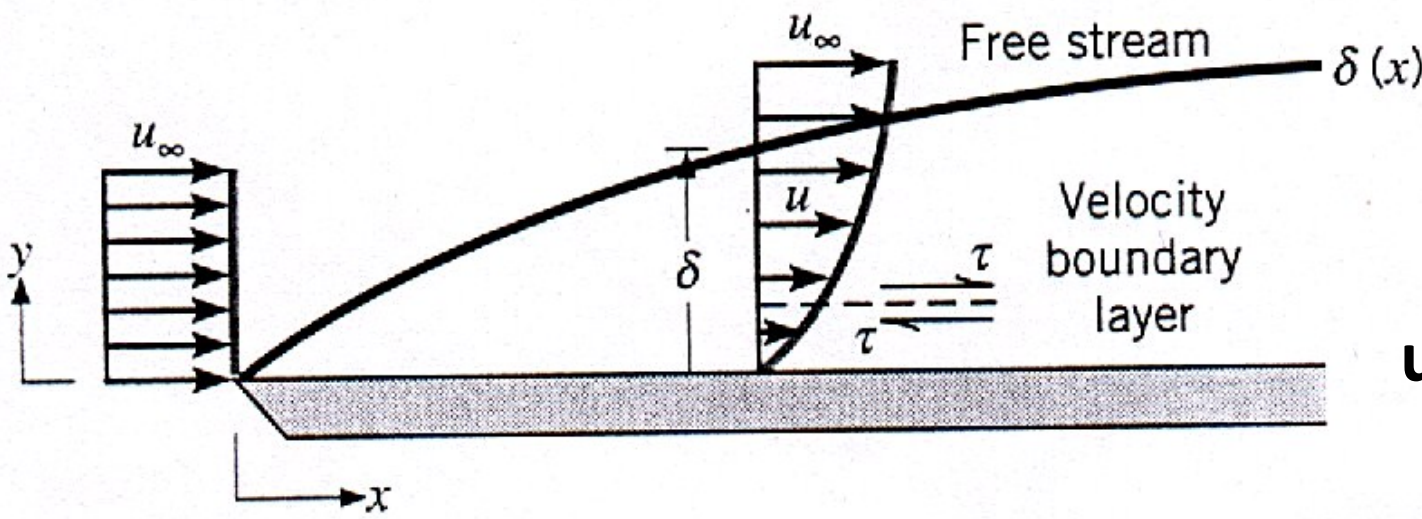


Introdusse così il concetto di **strato limite**, ossia di uno strato limitato in cui si concentrano le variazioni delle grandezze che descrivono lo stato del fluido: temperatura, velocità, pressione, etc.

Analizzando lo strato limite vicino ad una parete si possono individuare nel suo spessore tre zone:

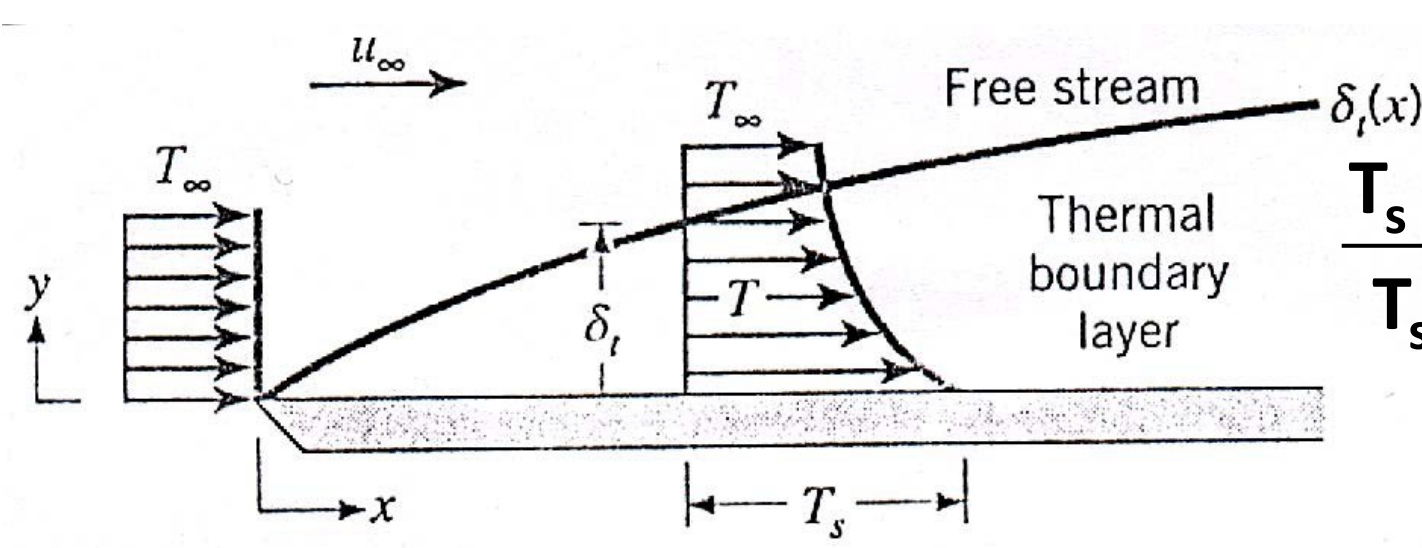
- un **sottostrato laminare**, in cui il trasporto è prevalentemente di tipo diffusivo e in cui i profili di velocità sono quasi lineari;
- una **regione intermedia**, nella quale i fenomeni di trasporto sono sia diffusivi che macroscopici;
- la **zona turbolenta**, in cui il trasporto di massa ed energia è di tipo macroscopico.





*Strato limite
dinamico*

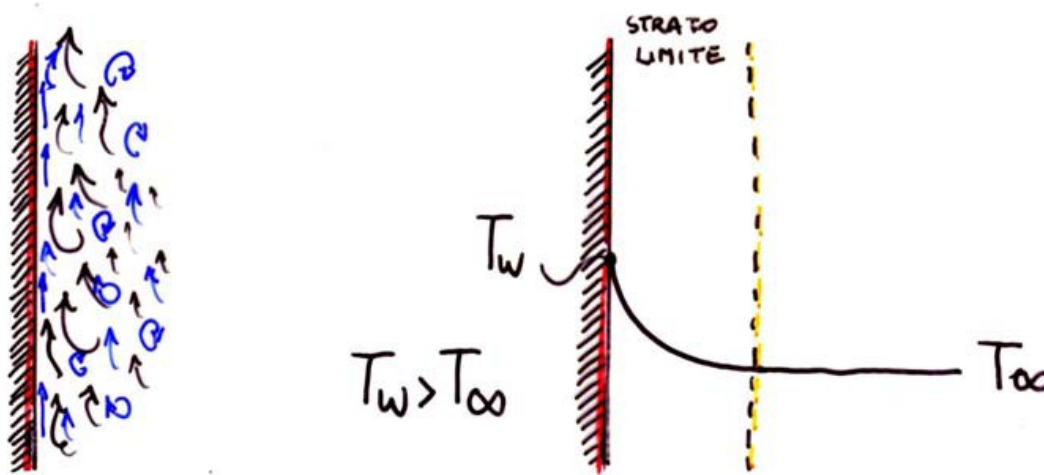
$$u(\delta) = 0,99 u_\infty$$



*Strato limite
termico*

$$\frac{T_s - T(\delta)}{T_s - T_\infty} = 0.99$$

Descrizione della convezione: la relazione di Newton



$$q = h (T_w - T_\infty)$$

h = coefficiente di scambio per convezione, [W/(m²K)]

Noto il valore di h è possibile valutare il flusso di calore .

Dare un valore a h non è facile, dipende infatti da:

proprietà del fluido (ρ, μ, λ, c_p)

configurazione geometrica (L)

condizioni di moto (v, ρ, μ, β)

Coefficiente di dilatazione cubica [K⁻³]

$$h = f(\rho, w, \mu, c_p, \lambda, L, \beta) = (Nu \lambda) / L$$