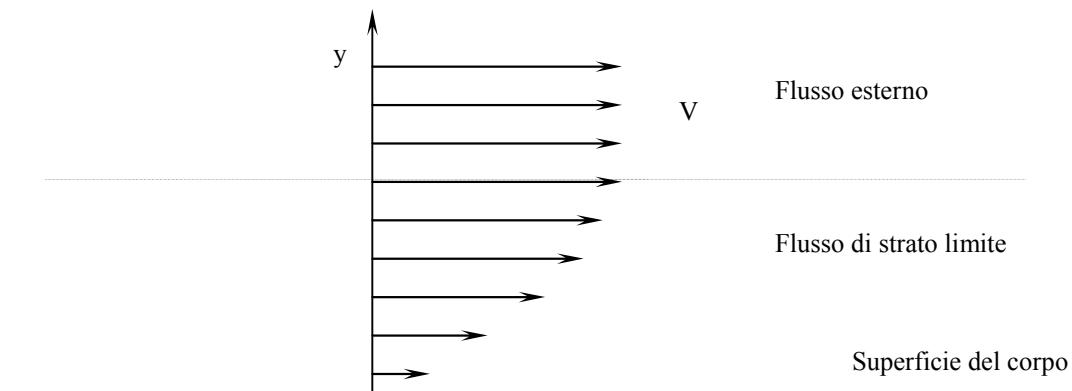


DESCRIZIONE DELLO STRATO LIMITE

Ricordiamo la definizione di strato limite data già nel capitolo “Principi di aerodinamica”.

Immaginiamo il fluido come un insieme di palline, le cosiddette “particelle fluide, alcuni esperimenti e misurazioni hanno evidenziato che avvicinandosi alla superficie del corpo in direzione perpendicolare ad esso, la velocità delle particelle di fluido varia di poco. Giunti abbastanza vicini alla superficie del corpo, la velocità comincia a diminuire fino a diventare zero in corrispondenza della superficie stessa.



Ciò può essere spiegato dicendo che le particelle di fluido a contatto con superficie devono essere ferme rispetto alla superficie stessa. Le particelle via via più lontane sono sottoposte alla forza di attrito quindi la loro velocità non può avere direttamente il valore che ha nel flusso esterno ma deve aumentare gradualmente man mano che ci si allontana dalla superficie.

Per quanto detto, si definisce “**strato limite**” quella distanza piccola rispetto alle dimensioni del corpo al di sotto della quale la velocità delle particelle di fluido scende rapidamente fino ad annullarsi a contatto con la superficie stessa.

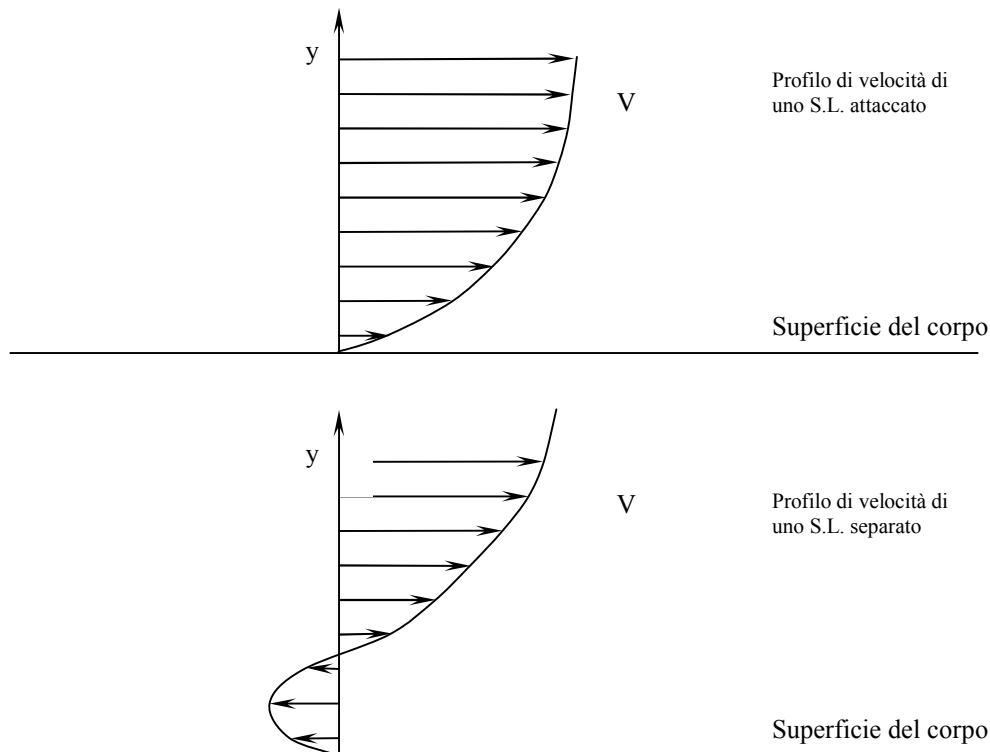
Si definisce **flusso esterno** la parte di flusso adiacente lo strato limite e sufficientemente lontano dalla superficie del corpo

Quando le particelle di fluido scorrono fra di loro, cioè hanno velocità diversa fra loro, esse sono sottoposte ad una forza di attrito dovuta ad una proprietà che si chiama **viscosità** del fluido.

Semplicisticamente, possiamo dire che maggiore è la differenza di velocità fra le particelle, maggiore è l’attrito. Pertanto, nello strato limite, dove le particelle viaggiano a velocità molto diverse fra loro, l’attrito e quindi la viscosità non possono essere trascurati.

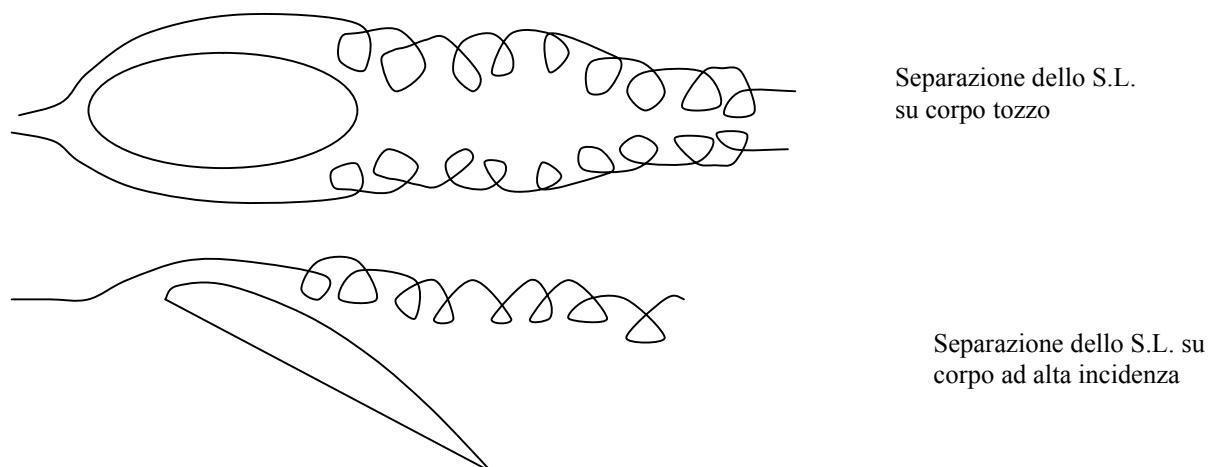
Per brevità indicherò lo strato limite con S.L.

Lo S.L. si dice **attaccato** alla superficie se la distribuzione di velocità del suo profilo ha verso dovunque concorde con quello del flusso esterno. In caso contrario si dice **separato**.



La separazione dello S.L. è il fenomeno che vede lo S.L. passare da attaccato a separato.

Lo S.L. separa quando la velocità delle particelle fluide diminuisce rapidamente man mano che avanzano sulla superficie del corpo in direzione del suo bordo di uscita. Si dice che esiste un forte gradiente negativo di velocità. Tale fatto accade quando il corpo presenta una parte posteriore tozza, poco affusolata, oppure quando il corpo viene posto ad incidenza molto elevata.



Quando lo S.L. separa, il flusso esterno non segue più il contorno del corpo, in particolare non si ha più la diminuzione di velocità con conseguente aumento di pressione nella parte posteriore del corpo. Nella parte posteriore del corpo la velocità del fluido rimarrà elevata e la pressione rimarrà bassa, secondo quanto indicato dall'equazione di Bernoulli.

La zona di bassa pressione nella parte posteriore del corpo determina una forte resistenza che, nel gergo aerodinamico, è detta resistenza di scia. In realtà è un aspetto evidente della resistenza di pressione dovuta allo S.L..

Lo S.L. può anche riattaccare sotto l'azione di un adeguato gradiente positivo di velocità, cioè una adeguata accelerazione delle particelle fluide

Lo S.L. si dice **laminare** quando le particelle fluide si muovono ordinatamente su strati sovrapposti. Se le particelle fluide si rimescolano disordinatamente, S.L. si dice **turbolento**.

La transizione dello S.L. è il fenomeno attraverso il quale lo S.L. si trasforma da laminare in turbolento.



Lo S.L. laminare è caratterizzato da un piccolo spessore, quindi bassa resistenza di pressione, e bassa resistenza di attrito. Esso separa già con piccoli gradienti di velocità, pertanto, se separa può dare una forte resistenza di scia.

Lo S.L. turbolento ha caratteristiche opposte. Alto spessore, alta resistenza di pressione e di attrito. D'altra parte, è più resistente alla separazione.

In considerazione di quanto detto, conviene progettare i corpi aerodinamici in modo che lo S.L. resti laminare sulla maggior parte possibile della superficie, per avere bassa resistenza, fino a che il corpo deve terminare con una superficie inclinata che determina una diminuzione di velocità. In tale zona S.L. deve essere turbolento per poter meglio resistere alla separazione.

Un parametro di fondamentale importanza nell'evoluzione dei fenomeni che interessano lo S.L. è il **numero di Reynolds**, indicato con Re . Re è il prodotto fra la velocità del fluido rispetto al corpo ed una lunghezza caratteristica del corpo (ad esempio, per il profilo alare è la corda) diviso la viscosità del fluido.

Il significato pratico del numero di Reynolds (Re) è che, se due corpi di lunghezza diversa, che viaggiano immersi in un fluido diverso a velocità diversa, se Re calcolato per entrambe risulta lo stesso, il fenomeno aerodinamico è lo stesso su entrambi i corpi, cioè, la posizione, espressa in percentuale della lunghezza del corpo, di transizione e/o separazione è la stessa. Se ad esempio sul corpo A la transizione è al 50% della lunghezza del corpo A, sul corpo B, la transizione sarà al 50% della lunghezza del corpo B. Siccome la resistenza aerodinamica di un corpo è fortemente influenzata dalla posizione della transizione e/o della separazione, **possiamo concludere che, il confronto fra coefficienti C_l e C_d di due profili alari deve essere fatto allo stesso numero di Reynolds.**

La transizione è favorita, cioè si avrà più vicina al bordo di entrata, da:

- 1) Un alto numero di Reynolds
- 2) Un alto gradiente negativo di velocità del flusso esterno. (cioè un basso gradiente)
- 3) Una elevata rugosità della superficie del corpo
- 4) Una turbolenza già presente nell'aria prima che questa investa il corpo

Se il Re è particolarmente basso, come sui profili per impiego aeromodellistico, la separazione può avvenire prima della transizione. Si avrà, uno S.L. laminare attaccato, una separazione laminare, uno S.L. laminare separato. Se poi Re non è proprio bassissimo, si avrà una transizione, uno S.L. turbolento separato, un riattacco, uno S.L. turbolento attaccato. E' possibile poi che lo S.L. turbolento attaccato separi nuovamente. La zona di S.L. separato, nel gergo aerodinamico, si chiama "bolla di separazione laminare". La sua posizione e la sua lunghezza influenzano il Cd del profilo.