



Copertina

# Corso di Fisica dello Strato Limite Atmosferico

## L'origine delle forze di superficie e le equazioni di Navier-Stokes

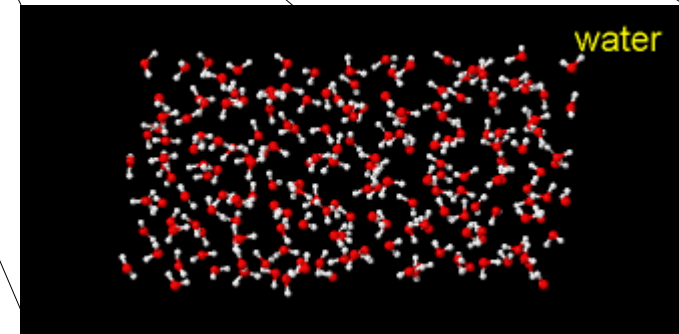
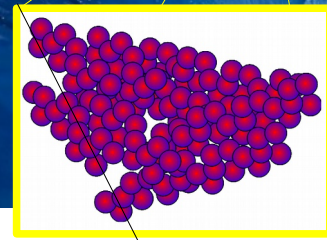
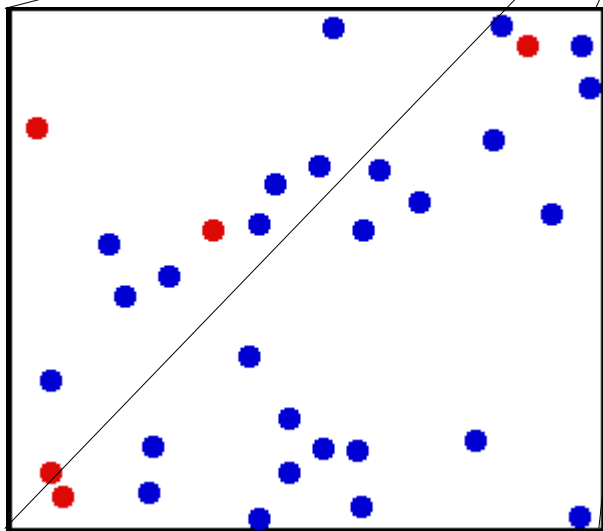
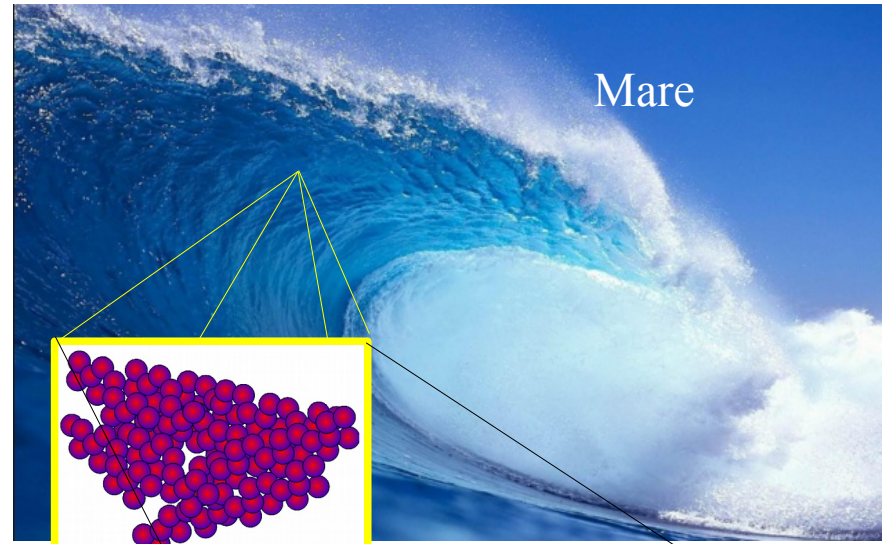
Giaiotti Dario

## Sommario della lezione

- I movimenti dei fluidi in condizioni di confinamento
- Caratteristiche essenziali dei fluidi
- Derivazione delle equazioni di Navier-Stokes

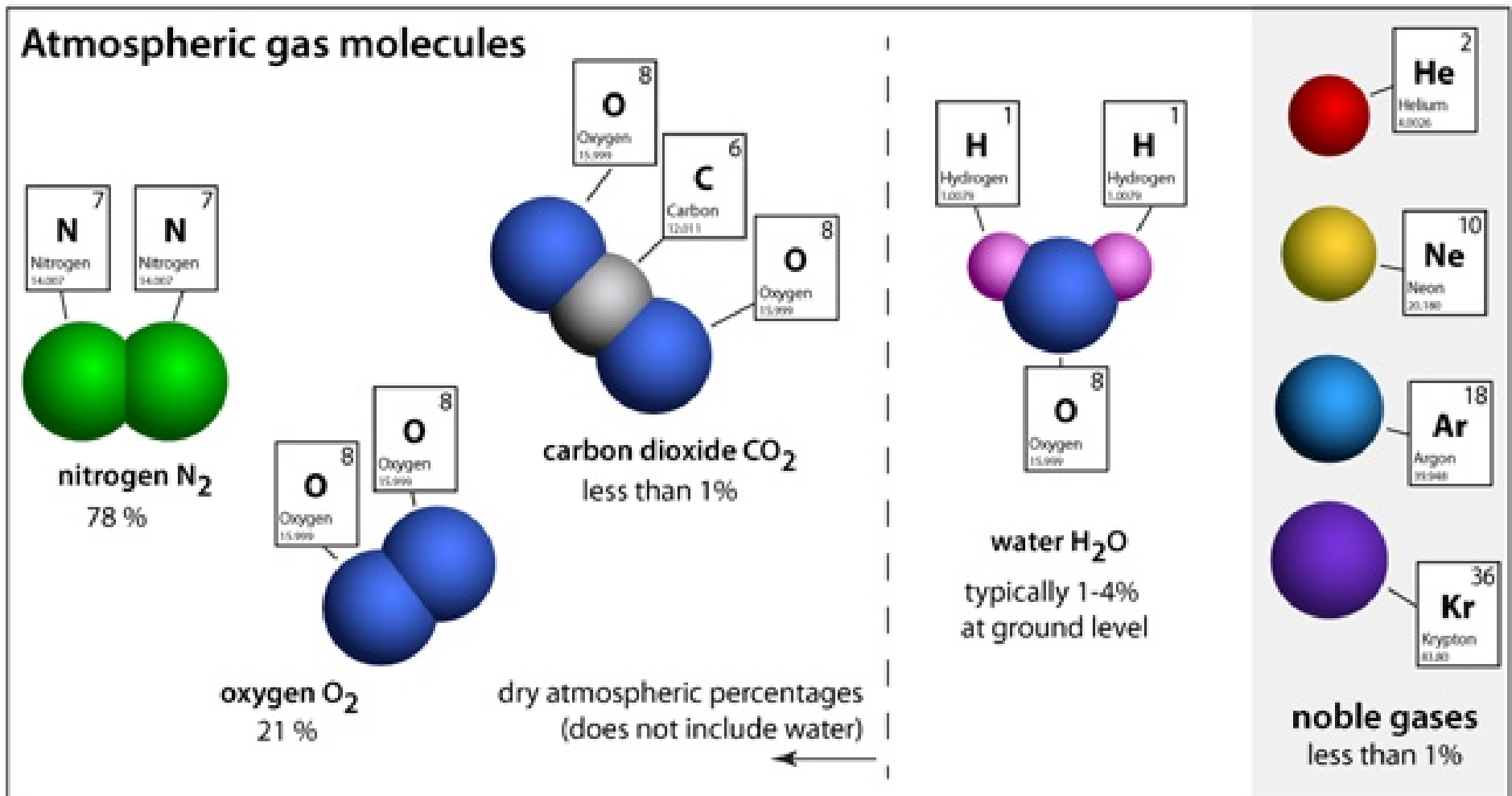
## Alcune considerazioni generali sullo studio del moto dei fluidi terrestri

Un fluido è un corpo materiale, quindi composto dai costituenti fondamentali della materia



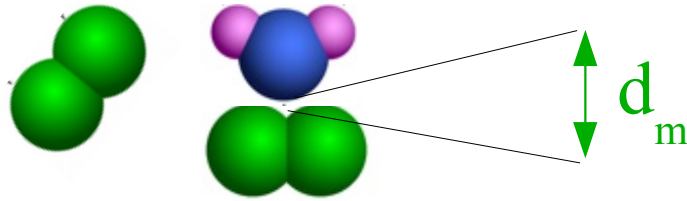
Alcuni costituenti sono sottoposti a passaggi di fase

## I costituenti fondamentali dell'atmosfera terrestre

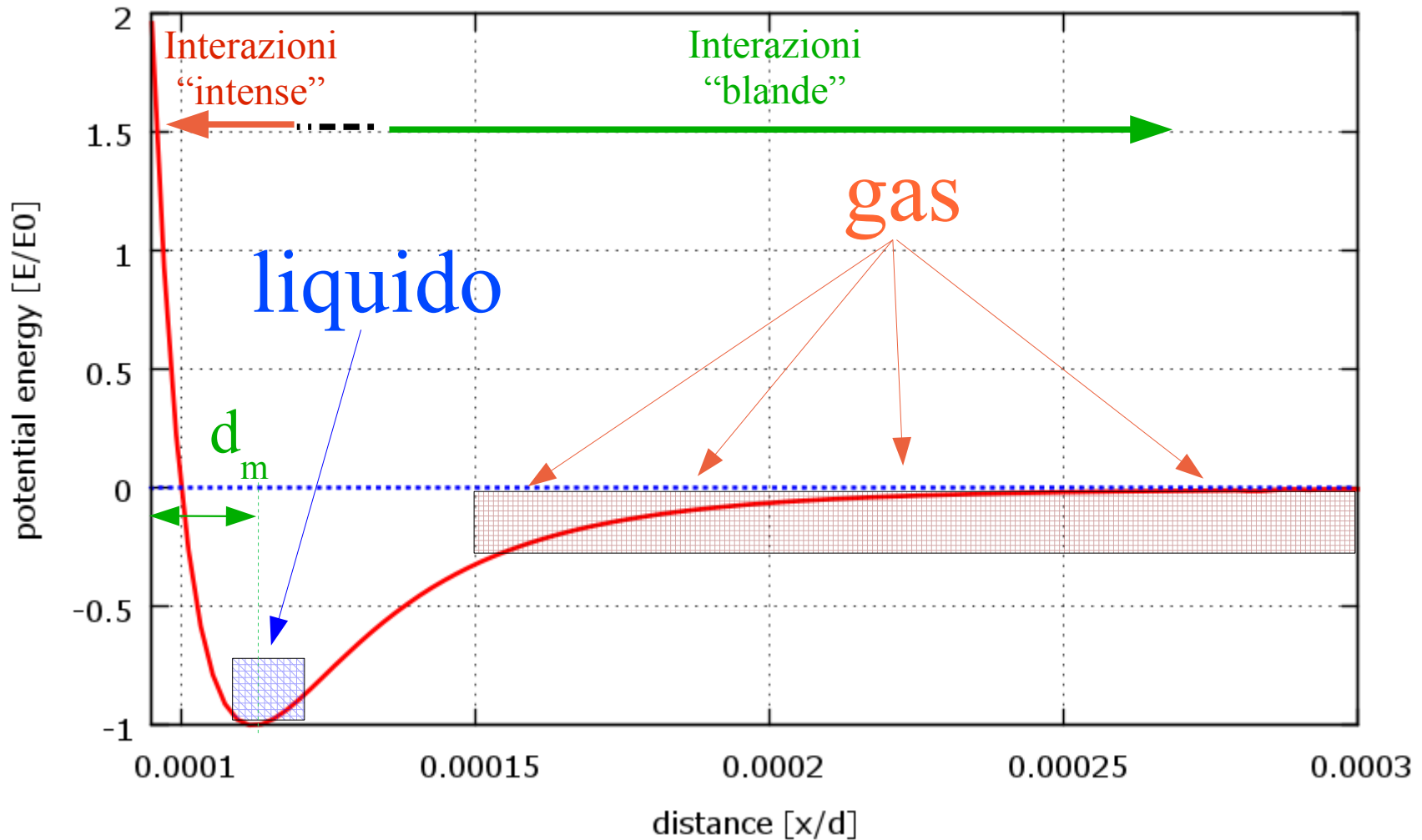


## Le interazioni tra le molecole costituenti i fluidi

Potenziale di Lennard-Jones



$$V(r) = 4\epsilon \cdot \left[ \left( \frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left( \frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$



## Confronto tra solidi, liquidi e gas

Posizioni relative tra le molecole, le loro interazioni e l'occupazione dello spazio

<i>Stato</i>	<i>Interazioni</i>	<i>Distanze tipiche rispetto <math>d_m</math></i>	<i>Tipo di struttura</i>	<i>Volume e forma</i>
<b>solido</b>	intense	$< d_m$	ordinata	definite
<b>liquido</b>	medie	$\sim d_m$	<b>parzialmente ordinata</b>	definito e <b>indefinita</b>
<b>gassoso</b>	deboli	$d_m \ll$	<b>disordinata</b>	<b>indefinite</b>



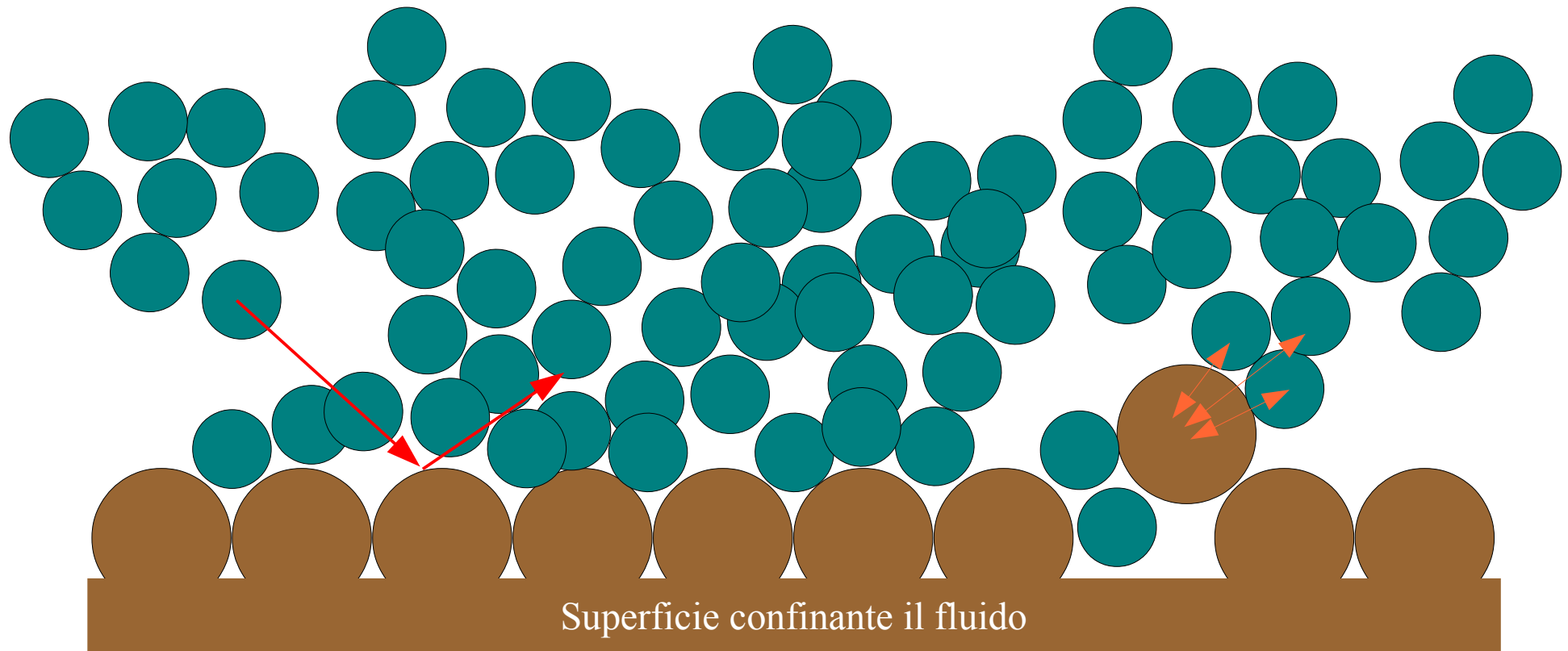
**Sono sempre confinati**  
non oppongono resistenza ai cambiamenti di forma

## Interazioni tra il fluido e la superficie che lo confina

# Fluido

Trasferimento di proprietà dal fluido all'elemento confinante e viceversa

- Quantità di moto
- Energia
- Massa



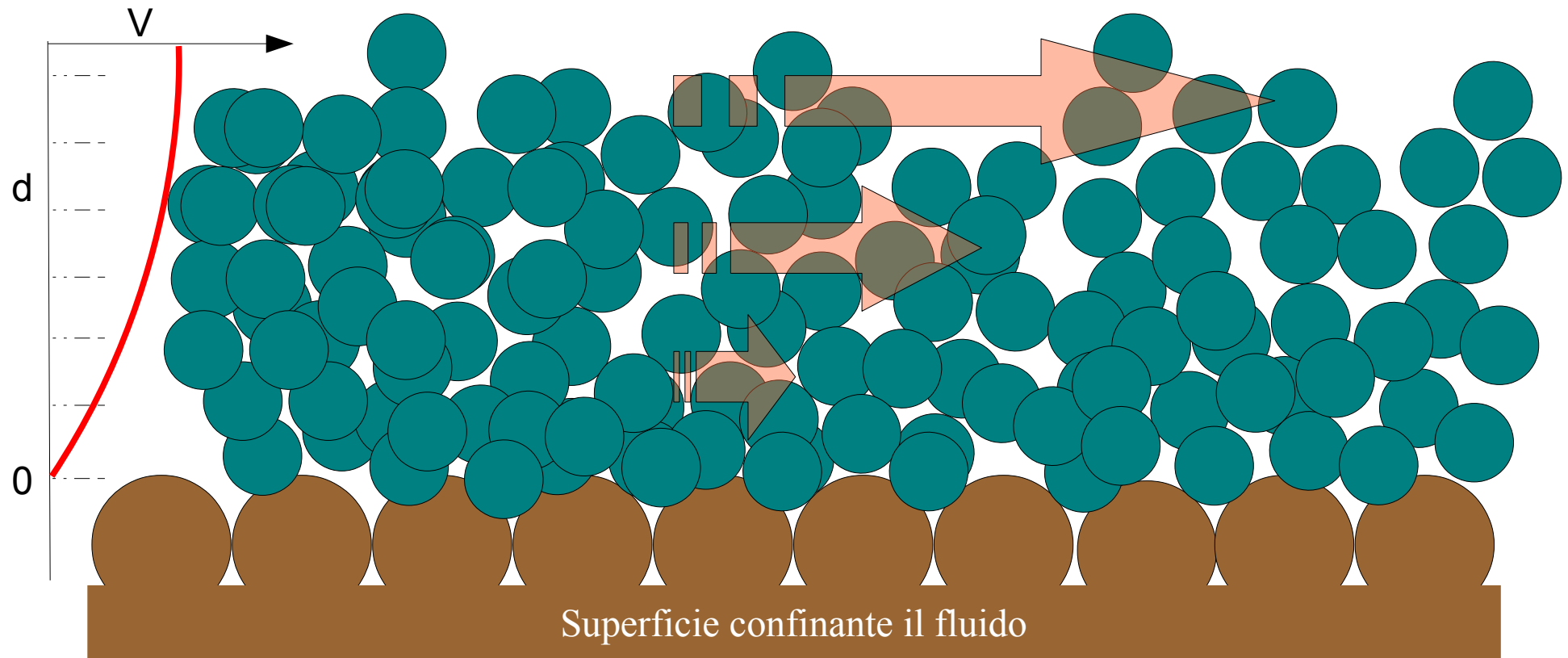
## Il moto del fluido nei pressi della superficie **solida** che lo confina

Conferme sperimentali evidenziano che:

il trasferimento della quantità di moto tra fluido ed elemento solido confinante si compensano nella **componente tangenziale**

- La velocità tangenziale del fluido e del solido sono identiche (no-slip condition)

**Fanno eccezione fluidi a bassissima densità**

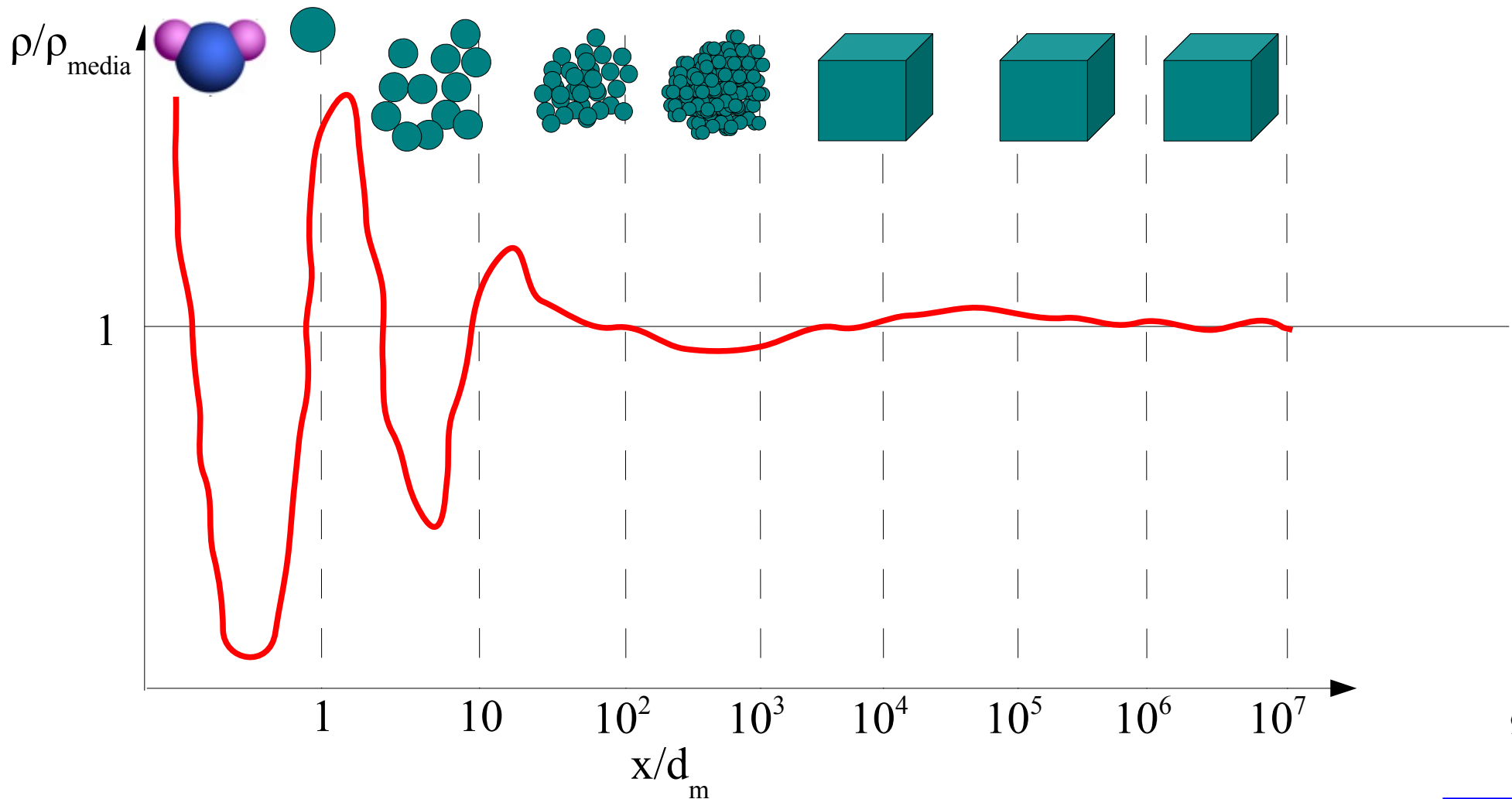




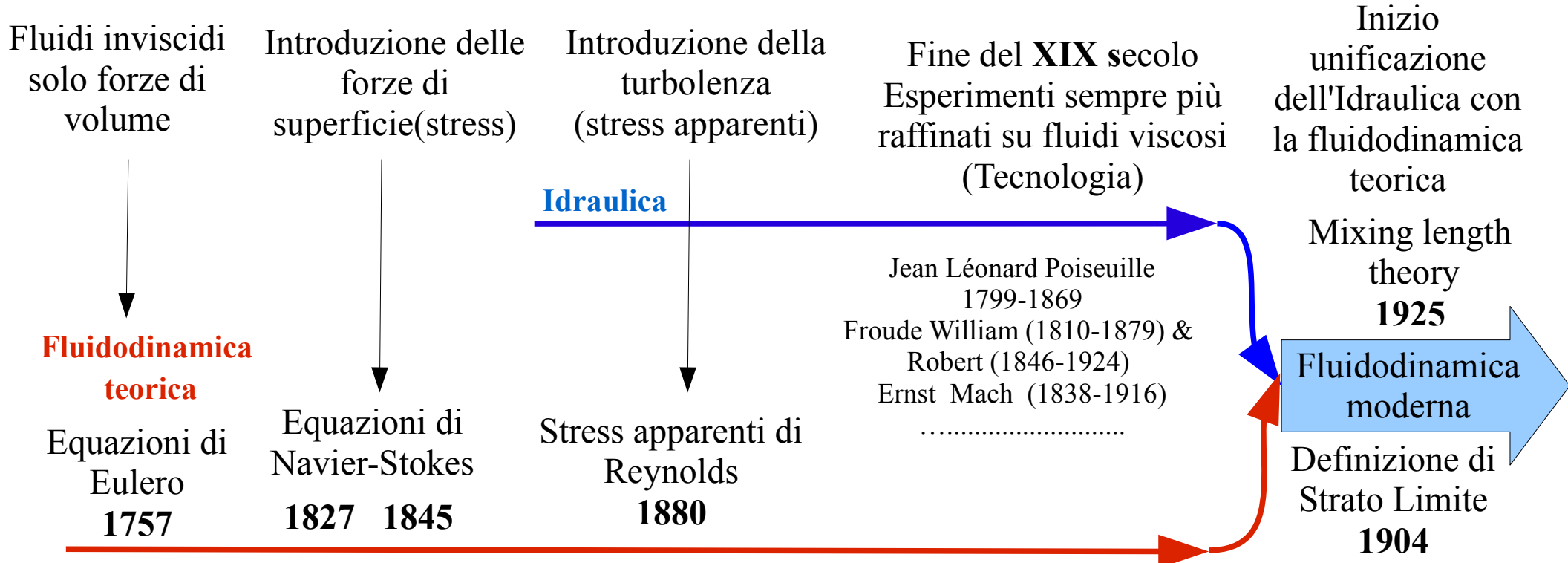
## L'ipotesi del continuo nella fluidodinamica classica

Per i fluidi atmosferici e oceanografici è accettabile l'ipotesi di fluido come mezzo continuo

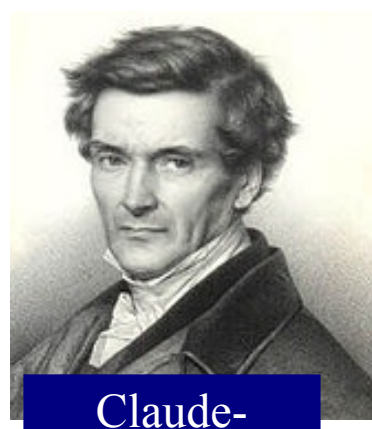
Questo ha delle conseguenze determinanti il formalismo matematico (equazioni differenziali) che vengono utilizzate per costruire i modelli dinamici atmosferici e oceanografici



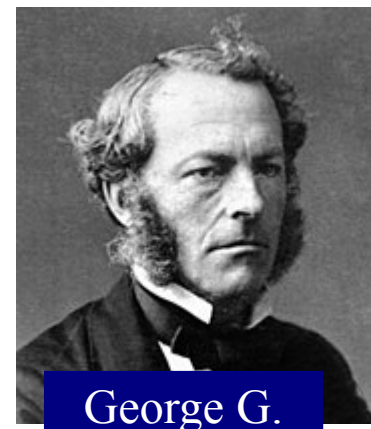
## Evoluzione della fluidodinamica dagli albori ai giorni nostri per (solo i fatti salienti)



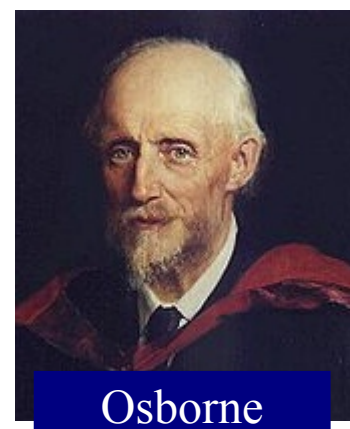
Leonhard Euler  
1707-1783



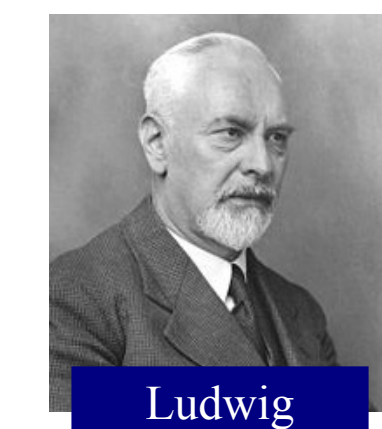
Claude-Louis Navier  
1785-1836



George G. Stokes  
1819-1903

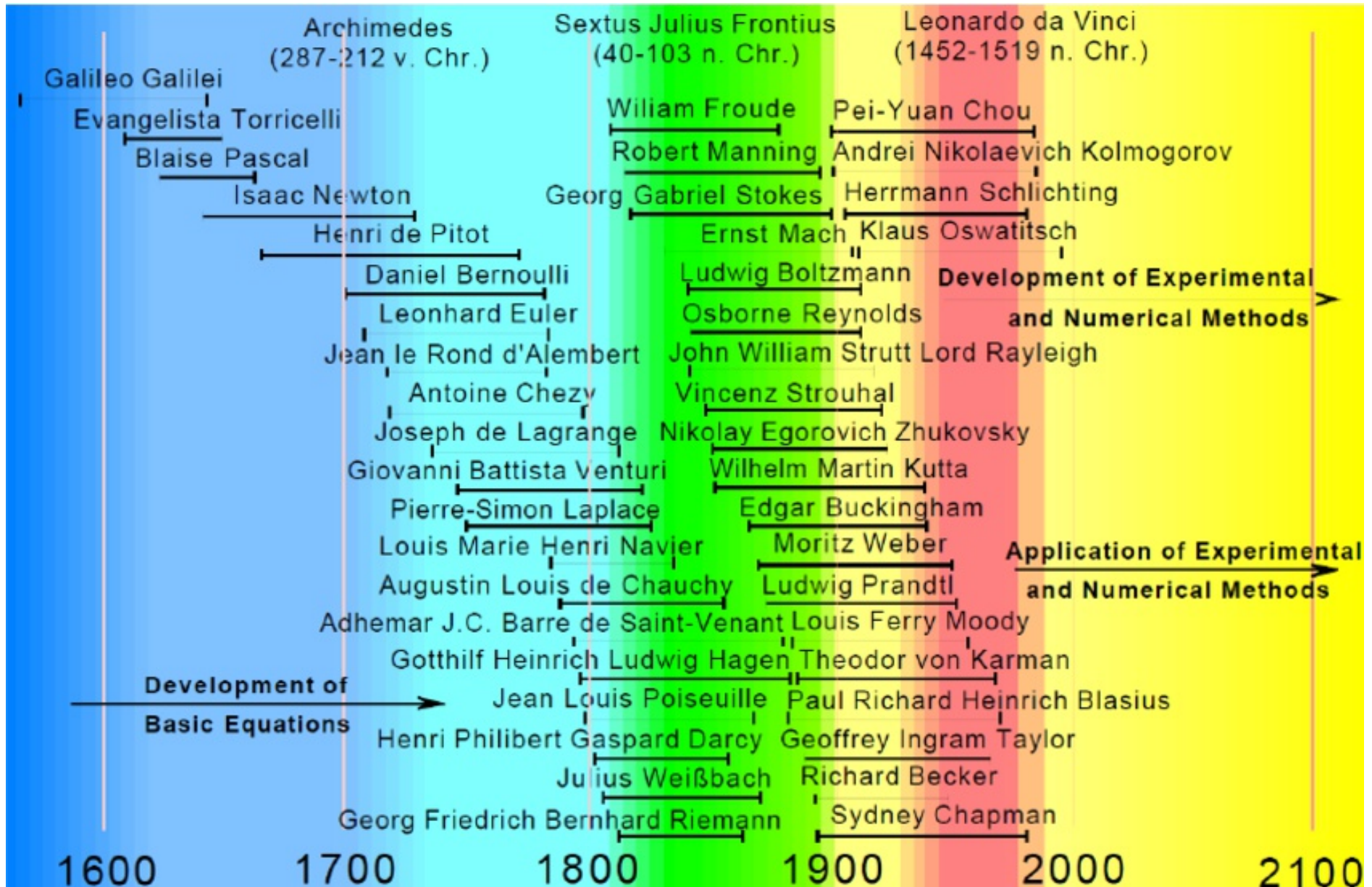


Osborne Reynolds  
1842-1912



Ludwig Prandtl  
1875-1953

## Cronologia completa dell'evoluzione delle conoscenze sui fluidi



## Il concetto di strato limite – generale

### Fluidodinamica teorica

Prevalentemente teoria basata su concetti fondanti la fisica

(Fisici e matematici)

- Congruenza interna
- Incongruenza con esperimenti

Fine del  
**XIX**  
secolo

Prandtl L.  
**1904**

### Idraulica

Prevalentemente empirica  
(Ingegneri)

- Molti metodi (incongruenti)
- Congruenza con esperimenti

Introduzione del concetto di **Strato Limite**

*Ad elevati numeri di Reynolds, l'attrito con il mezzo confinato **non è trascurabile**, rispetto alle altre forze che agiscono sul fluido, **solo** in una regione prossima al mezzo confinante, detta **Strato Limite**. Al di fuori dello Strato Limite gli effetti degli attriti sono trascurabili ed il fluido è considerabile un fluido inviscido.*

Pertanto esistono due regioni del fluido ben distinte: lo **strato limite** e lo **strato esterno**. La transizione da una regione (regime del fluido) all'altra è molto brusca, anche se necessariamente deve essere caratterizzata da continuità.

Primo passo nella riunificazione tra la **Fluidodinamica teorica** e dell'**Idraulica**

## Secondo passaggio storico nella comprensione del moto dei fluidi confinati

### Constatazione (sperimentale) dell'esistenza di strati limite laminari e di strati limite turbolenti

Prandtl L. 1925

Introduzione del concetto di lunghezza di rimescolamento (mixing length) e inizio degli studi sullo **Strato Limite Turbolento**

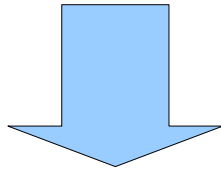
Secondo passo nella riunificazione tra la **Fluidodinamica teorica** e dell'**Idraulica**



## Tipi di strato limite e contestualizzazione dello Strato Limite Atmosferico

### Strato Limite Turbolento

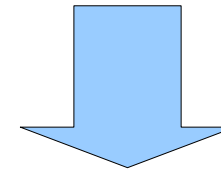
Fluidi comprimibili



Casi di interesse ambientale  
(atmosfera, oceano, ecc.)  
Casi di interesse biologico  
Casi di interesse ecologico  
.....

### Strato Limite Laminare

Fluidi incompressibili



Casi di interesse ingegneristico  
Casi di interesse geologico  
.....



## Derivazione delle equazioni di Navier-Sokes

Svolgimento alla lavagna.

Riferimenti bibliografici:



Boundary Layer Theory, Schlitching H. McGrow-Hill

Capitolo III

An Introduction to Fluid Dynamics, Batchelor G. K., Cambridge University Press

Capitoli: 1.3, 2.3, 2.4, 3.1, 3.2, 3.3, 5.7

Fluid Dynamics – Part 3 – Boudary Layers, A. I. Ruban, Oxford Univ. Press.

Pagine 1-3 e facoltative 4-11