=FLUIDODINAMICA=

STATI → SOLIDO: HA FORMA E VOLUME PROPRI
→ LIQUIDO: HA VOLUME PROPRIO MA NON LA FORMA
→ GAS: NON HA NÉ FORMA NÉ VOLUME

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

dal PTO di VISTA MOLECOLARE:

SOLIDO: È CARATTERIZZATO da MOLECOLE RAVVICINATE TRA LORO E CON FORTI LEGAMI COESIVI CHE PERMETTONO al SOLIDO di CONSERVARE LA PROPRIA FORMA

LIQUIDO: È CARATTERIZZATO da UNA STRUTTURA MOLECOLARE ANCORA MOLTO DENSA MA CON LEGAMI Più DEBOLI E CON MOLECOLE Più LIBERE di MUOVERSI. PERCIÒ I LIQUIDI POSSONO ESSERE FACILMENTE DEFORMATI MA NON COMPRESSI

GAS: SONO COMPOSTI da MOLECOLE MAGGIORMENTE DISTANZIATE E LIBERE di MUOVERSI. I GAS POSSONO QUINDI ESSERE FACILMENTE DEFORMATI E COMPRESSI

GAS PERFETTO: LE INTERAZIONI TRA LE MOLECOLE AVVENGONO SOLO TRAMITE COLLISIONI, ATTRAVERSO LE QUALI, ESSE SI SCAMBIANO QUANTITÀ di MOTO ed ENERGIA

PROPRIETÀ dei FLUIDI (GAS & LIQUIDI):
- NON HANNO UNA FORMA DEFINITA
- POSSIBILITÀ di DEFORMARSI SE SOTTOPOSTI A FORZE PICCOLE, PURCHÉ OPPORTUNAMENTE APPLICATE

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

FLUIDO: SOSTANZA CHE SI DEFORMA IN MODO CONTINUO QUANDO È SOTTOPOSTO AD UNA QUALSIASI TENSIONE di TAGLIO CREATA DALLA DA UNA FORZA CHE AGISCE IN DIREZIONE TANGENTE ad UNA SUPERFICIE
I FLUIDI NON SONO IN GRADO di ESPLICARE FORZE di REAZIONE SE NON QUELLE di METTERSI IN MOTO.

UN **FLUIDO È IN QUIETE** SE E SOLO SE È SOTTOPOSTO A FORZE NORMALI ALLA LORO SUPERFICIE (FORZE di PRESSIONE)

NEL CARATTERIZZARE IL COMPORTAMENTO di UN FLUIDO RISULTA TROPPO COMPLICATO STUDIARE IL MOVIMENTO di OGNI SINGOLA MOLECOLA. SI CONSIDERA INVECE IL VALOR MEDIO, o MACROSCOPICO DELLA GRANDEZZA d'INTERESSE, FACENDO LA MEDIA SU UN PICCOLO VOLUME di FLUIDO, CHE CONTENGA PERÒ UN GRAN NUMERO di MOLECOLE QUANDO ADES. SI DICE CHE LA VELOCITÀ IN UN PTO HA UN CERTO VALORE, SI CONSIDERA IL VALOR MEDIO DELLA VELOCITÀ DELLE MOLECOLE DEL FLUIDO IN UN VOLUMETTO CHE COMPRENDE IL PTO IN ESAME. LE DIMENSIONI DEL VOLUME CHE FORMALMENTE CHIAMIAMO PARTICELLA FLUIDA, SONO PICCOLE RISPETTO A QUELLE FISICHE DEL SISTEMA, MA GRANDI RISPETTO ALLA DISTANZA MEDIA INTERMOLECOLARE

PARTICELLA FLUIDA: VOLUMETTO ELEMENTARE DI FLUIDO SUFFICIENTEMENTE PICCOLO DA POTER ESSER CONSIDERATO INFINITESIMO RISPETTO ALLE VARIAZIONI SPAZIALI DELLE GRANDEZZE MACROSCOPICHE

MQ SUFFICIENTEMENTE GRANDE DA POTER CONTENERE UN NUMERO ABBASTANZA ELEVATO DI MOLECOLE, PER FARSI CHE CHE IL VALORE DI OGNI GRANDEZZA RISULTI STATISTICAMENTE STAZIONARIO.

SI ASSUME CHE TUTTE LE GRANDEZZE FLUIDODINAMICHE VARINO NEL FLUIDO IN MODO CONTINUO, TRATTANDO IL FLUIDO COME UN MEZZO CONTINUO.

QUESTA IPOTESI CESSA di ESSERE VALIDA, QUANDO:

→ SI STUDIANO PROBLEMI CHE HANNO DIMENSIONI CARATTERISTICHE MOLTO ACCOSTE, QUELLE DELLO STESSO ORDINE DI GRANDEZZA DI QUELLE MOLECOLARI

→ SI STUDIA IL MOTO DI UN CORPO ALL'INTERNO DI UN GAS RAREFATTO, IN CUI LA DIMENSIONE DEL CORPO È CONFRONTABILE CON LA DISTANZA TRA LE MOLECOLE

DENSITÀ: $\rho = \lim_{\mathcal{V} \to \mathcal{V}'} \frac{\partial m}{\partial \mathcal{V}}$ CON ∂m: MASSA CONTENUTA IN $\mathcal{V}$

$\mathcal{V}$: VOLUMETTO DI FLUIDO DI CUI P È BARICENTRO

I GAS E I LIQUIDI SI DIFFERENZIANO PER LA DIVERSA COMPRIMIBILITÀ.

↳ I GAS POSSONO ESSERE COMPRESSI PIÙ FACILMENTE DEI LIQUIDI

COMPRIMIBILITÀ: FACILITÀ O MENO A VARIARE LA DENSITÀ IN SEGUITO AD UNA VARIAZIONE DI PRESSIONE. LA COMPRIMIBILITÀ DI UN FLUIDO È CARATTERIZZATA DAL **COEFFICIENTE di COMPRIMIBILITÀ** INDICE DELLA VARIAZIONE RELATIVA DI VOLUME PER UNITÀ DI VARIAZIONE DI PRESSIONE

COEFFICIENTE di COMPRIMIBILITÀ: $K = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)$ $V = \frac{1}{\rho}$ VOLUME SPECIFICO

K ALTO ⇒ FLUIDO PIÙ COMPRIMIBILE ⇒ È PIÙ FACILE VARIARE IL VOLUME A BASSE VARIAZIONI DI PRESSIONE

K BASSO ⇒ FLUIDO POCO COMPRIMIBILE

I LIQUIDI SONO CARATTERIZZATI DALL'AVERE K BASSO (FLUIDI INCOMPRIMIBILI) CIOÈ SI HANNO PICCOLE VARIAZIONI DI DENSITÀ ANCHE PER SIGNIFICATIVE VARIAZIONI DI PRESSIONE

LA LORO DENSITÀ QUALUNQUE SIA LA CONDIZIONE DI MOTO, TENDE A NON VARIARE NÉ NEL TEMPO NÉ NELLO SPAZIO ⇒ COSTANTE ⇒ ρ COSTANTE

EQ.NE di STATO dei GAS PERFETTI: $p = \rho R T$ CON $R = \frac{\mathcal{R}}{m}$

$R = 287{,}1$ J/Kg°K (PER ARIA SECCA)

$\mathcal{R}$: COSTANTE UNIVERSALE DEI GAS 8,31 J/mol°K

m: MASSA MOLECOLARE DEI GAS

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

= GENERALITÀ =

VELOCITÀ IN OGNI PTO DEL FLUIDO: VELOCITÀ MEDIATA SU TUTTE LE MOLECOLE CHE STANNO NELLA PARTICELLA FLUIDA

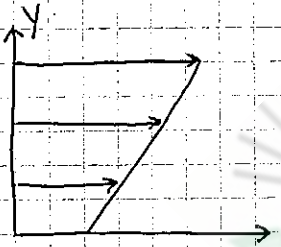
$$\vec{V}(P) = (u, v, w)$$

FORZE AGENTI SULLA PARTICELLA FLUIDA
- → **FORZE di VOLUME**: LEGATE al CAMPO, PROPORZIONALI al VOLUME della PARTICELLA FLUIDA (FORZA PESO, FORZE DOVUTE A CAMPI MAGNETICI...)
- → **FORZE di CONTATTO**: DOVUTE al CONTATTO TRA LE PARTICELLE

PRESSIONE: FORZA NORMALE (ORIENTATA VERSO L'INTERNO) PER UNITÀ di SUPERFICIE. IN UN FLUIDO IN QUIETE, LA PRESSIONE È ISOTROPA (CIOÈ HA MODULO INDIPENDENTE DALLA GIACITURA) E PUÒ ESSERE CONSIDERATA UNA QUANTITÀ SCALARE ⇒ LA PRESSIONE È UNA PROPRIETÀ TERMODINAMICA

FORZE TANGENZIALI

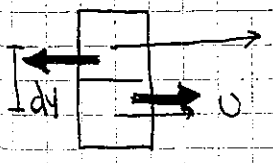
INTERPRETAZIONE A LIVELLO MICROSCOPICO: SI CONSIDERA UN GAS PERFETTO IN MOTO BIDIMENSIONALE UNIFORME, AVENTE COME UNICA COMPONENTE DI VELOCITÀ u, IN DIREZIONE x E VARIABILE LUNGO y



LE MOLECOLE CONTENUTE IN OGNI PARTICELLA FLUIDA POSSEGGONO UNA VELOCITÀ DI AGITAZIONE TERMICA AVENTE DIREZIONE CASUALE, SOVRAPPOSTA A QUELLA MEDIA.

PER EFFETTO DI QUESTA VELOCITÀ DI AGITAZIONE TERMICA IN TUTTE LE DIREZIONI ALCUNE MOLECOLE DELLO STRATO SUPERIORE PASSERANNO IN QUELLO INFERIORE E VICEVERSA.

POICHÉ LE MOLECOLE DELLO STRATO SUPERIORE SONO DOTATE DI UNA MAGGIORE VELOCITÀ MEDIA, NEGLI URTI CON LE MOLECOLE DELLO STRATO INFERIORE, CEDERANNO UNA QUANTITÀ DI MOTO ALLO STRATO INFERIORE, CHE VIENE QUINDI ACCELERATO, MENTRE LE MOLECOLE CHE DALLO STRATO INFERIORE PASSANO A QUELLO SUPERIORE, TENDONO A RALLENTARE QUEST'ULTIMO



> LE AZIONI TANGENZIALI SONO L'EFFETTO A LIVELLO MACROSCOPICO, DELLO SCAMBIO DI QUANTITÀ DI MOTO FRA LE PARTICELLE A CAUSA DEL MOTO DI AGITAZIONE TERMICA DELLE MOLECOLE

SONO TANTO MAGGIORI, TANTO MAGGIORE È LA VARIAZIONE DI VELOCITÀ LUNGO y (du/dy) E TANTO MAGGIORE È LA VELOCITÀ DI AGITAZIONE TERMICA (TEMPERATURA ASSOLUTA)

MODELLO di FLUIDO VISCOSO NEWTONIANO: SI ASSUME UN LEGAME LINEARE TRA LO SFORZO DI TAGLIO E IL GRADIENTE DI VELOCITÀ du/dy

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

μ COEFF. DI VISCOSITÀ MOLECOLARE $\left[\frac{kg}{m\,s}\right]$

VISCOSITÀ CINEMATICA: $\nu = \mu/\rho$ $\left[m^2/s\right]$

→ IL MODELLO di FLUIDO NEWTONIANO È VALIDO PER LA MAGGIOR PARTE DEI GAS TRA CUI L'ARIA

→ PER i GAS, il COEFF. di VISCOSITÀ MOLECOLARE AUMENTA CON $T^{1/2}$

→ PER i LIQUIDI, QUESTO MECCANISMO di SCAMBIO a LIVELLO MOLECOLARE NON È VALIDO (MECCANISMO PIÙ COMPLESSO), TUTTAVIA IL MODELLO di FLUIDO NEWTONIANO RESTA VALIDO PER MOLTI LIQUIDI COME L'ACQUA; TUTTAVIA PER i LIQUIDI μ DIMINUISCE CON T

TRASPORTO di CALORE

IL MECCANISMO FISICO RESPONSABILE del TRASPORTO di CALORE IN UN GAS È DELLO STESSO TIPO di QUELLO CHE PORTA alla NASCITA delle AZIONI TANGENZIALI cioè lo SCAMBIO TERMICO dovuto al MOTO di AGITAZIONE MOLECOLARE

SI CONSIDERA UN GAS FERMO IN MOTO FONDAMENTALMENTE, IMMERSO IN UN CAMPO di TEMPERATURA VARIABILE LUNGO Y



A CAUSA della VELOCITÀ di AGITAZIONE MOLECOLARE MOLECOLE della PARTICELLA INFERIORE PASSANO NELLA SUPERIORE E VICEVERSA

POICHÉ LE MOLECOLE della PARTICELLA INFERIORE HANNO MEDIAMENTE una TEMPERATURA PIÙ BASSA di QUELLE della PARTICELLA SUPERIORE QUESTE TENDERANNO a RAFFREDDARE LA PARTICELLA SUPERIORE MENTRE VICEVERSA, NELLA PARTICELLA INFERIORE si AVRÀ un AUMENTO RISCALDANTE

LEGGE di FOURIER: Si ASSUME UN LEGAME LINEARE TRA FLUSSO di CALORE E GRADIENTE di TEMPERATURA

$$q_y = -K \frac{dT}{dy}$$

K: COEFF di CONDUCIBILITÀ TERMICA $\left[\frac{J}{m\,s\,K}\right]$

→ PER i GAS il COEFF di CONDUCIBILITÀ TERMICA AUMENTA CON $T^{1/2}$

→ PER i LIQUIDI, IL MECCANISMO di SCAMBIO a LIVELLO MOLECOLARE NON È VALIDO (MECCANISMO PIÙ COMPLESSO), INFATTI K AUMENTA CON T

GENERALIZZAZIONE della LEGGE di FOURIER al CASO 3D:

$$\vec{q} = -K \nabla T \Rightarrow \begin{cases} q_x = -K \frac{\partial T}{\partial x} \\ q_y = -K \frac{\partial T}{\partial y} \\ q_z = -K \frac{\partial T}{\partial z} \end{cases}$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

=NUMERI ADIMENSIONALI=

VELOCITÀ DEL SUONO: VELOCITÀ di PROPAGAZIONE di PERTURBAZIONI INFINITESIME all'INTERNO di UN FLUIDO

$$a^2 = \left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_s$$

CASO PARTICOLARE: GAS PERFETTO (ARIA)

PARTENDO dalla LEGGE dell'ISOENTROPICA: $p\rho^{-\gamma} = \text{COST}$

$$\frac{\partial}{\partial \rho}(p\rho^{-\gamma}) = 0 \Rightarrow \rho^{-\gamma}\frac{\partial p}{\partial \rho} - \gamma p \rho^{-(\gamma+1)} = 0 \Rightarrow \frac{\partial p}{\partial \rho} = \frac{\gamma p \rho^{-(\gamma+1)}}{\rho^{-\gamma}}$$

$$\frac{\partial p}{\partial \rho} = a^2 = \gamma\frac{p}{\rho} \quad \text{ma} \quad \frac{p}{\rho} = RT \Rightarrow a^2 = \gamma RT$$

→ CALCOLATA AD ENTROPIA COSTANTE (ed è VERIFICATA PERCHÉ TUTTO lo SVILUPPO PARTE dalla LEGGE dell'ISOENTROPICA)

I LIQUIDI SONO INCOMPRIMIBILI, i GAS INVECE SONO A PRIORI FLUIDI COMPRIMIBILI CON COEFF. di COMPRIMIBILITÀ MOLTO MAGGIORE CHE NEI LIQUIDI; TUTTAVIA CI SONO DELLE CONDIZIONI di MOTO PER CUI, ANCHE PER i GAS PERFETTI FANNO l'IPOTESI di INCOMPRIMIBILITÀ.

LA VELOCITÀ del SUONO È LEGATA al COEFF di COMPRIMIBILITÀ ISOENTROPICO:

$$k = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_s = -\rho\left(\frac{\partial(1/\rho)}{\partial p}\right)_s = \frac{\rho}{\rho^2}\left(\frac{\partial \rho}{\partial p}\right)_s = \frac{1}{\rho a^2} \Rightarrow k = \frac{1}{\rho a^2}$$

LA VELOCITÀ del SUONO È UTILE PER CAPIRE SE CI SONO DELLE CONDIZIONI di MOTO IN CUI ANCHE UN GAS PUÒ ESSERE CONSIDERATO INCOMPRIMIBILE.

SI CERCA QUINDI di CAPIRE QUANDO LE VARIAZIONI DINAMICHE di PRESSIONE (Δp) CIOÈ INDOTTE dal MOTO, PRODUCONO VARIAZIONI TRASCURABILI di DENSITÀ ($\Delta \rho$)

dalla def.NE di VELOCITÀ del SUONO, ASSUMENDO l'ISOENTROPICITÀ del MOTO, SI HA

$$\Delta p \approx \frac{\Delta \rho}{a^2}$$

l'ORDINE di GRANDEZZA della VARIAZIONE di PRESSIONE DOVUTA A UNA CERTA VELOCITÀ IN MOTO È:

$$\Delta p \approx \frac{1}{2}\rho V^2$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

QUINDI SI OTTIENE: $\frac{\Delta \rho}{\rho} \approx \frac{1}{2}\frac{V^2}{a^2}$

NUMERO di MACH: RAPPORTO TRA LA VELOCITÀ del FLUIDO e LA VELOCITÀ del SUONO

$$M = \frac{V}{a}$$

$M > 1$ REGIME SUPERSONICO
$M < 1$ REGIME SUBSONICO
$M = 1$ CASO LIMITE, REGIME SONICO