06/03/17
Testi (2ª parte)

FISICA TECNICA (corso di base)
- Bilanci di massa, entropia, energia
- MECCANICA DEI FLUIDI (FLUIDO/GAS-DINAMICA)
  - → Teorema di Bernoulli (irreversibilità)
  - → comprimibilità di flussi interni (anche a velocità elevate)
- TRASMISSIONE DEL CALORE { conduzione; convenzione; irraggiamento + ebollizione (scambio termico e cambiam. di fase)

ORALE: risoluzione di problemi + concetti

ricevim.: Venerdì pomeriggio
unimap: registro lezioni

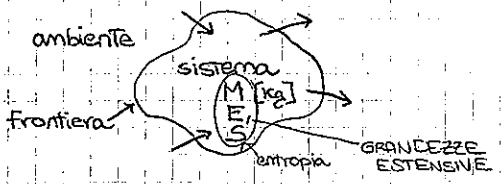
Ripasso concetti principali:

BILANCI DI MASSA, ENERGIA ED ENTROPIA

(valgono + sistema)

Sono bilanci generici di un sistema, integrali (non locali), ovvero di tutto il sistema.

- Per prima cosa bisogna individuare il sistema a cui applicare il bilancio. (applicabile a qualunque sistema). A volte è più intuitivo, altre volte bisogna indicare la parte del sistema scelto.



1) individuazione sistema

2) bilancio più semplice: BILANCIO DI MASSA → variazione nel tempo di una grandezza fisica (in questo caso la MASSA M del sistema)

$$\left[\frac{kg}{s}\right] \quad \frac{dM}{dt} = \sum_{i=1}^{n} \dot{m}_{i\,IN} - \sum_{j=1}^{m} \dot{m}_{j\,OUT}$$

- $\frac{dM}{dt}$: La massa del sistema varia nel tempo a causa dell'ingresso e dell'uscita di altra massa
- $\sum \dot{m}_{IN}$: portata in ingresso (fa aument. la massa)
- $\sum \dot{m}_{OUT}$: portata in uscita (fa diminuire la massa)

dove $\dot{m} = \int_S \rho w \, dS = (\rho w)_m S$ (portata; velocità; medio)

Negli esercizi considero densità e velocità media.

- sistema chiuso: $\frac{dM}{dt} = 0$ → la massa del sistema non varia.
- sistema stazionario → le funzioni di stato non variano nel tempo (sono le stesse in ogni punto):

$$\frac{dM}{dt} = 0 \rightarrow \sum \dot{m}_{i\,IN} - \sum \dot{m}_{i\,OUT} = 0 \rightarrow \sum \dot{m}_{i\,IN} = \sum \dot{m}_{i\,OUT}$$

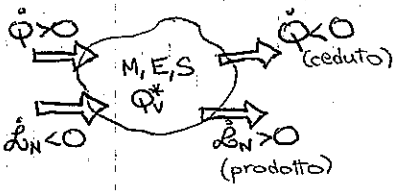
N.B. NON CI SONO GENERAZIONI DI MASSA (ad eccezioni di reazioni nucleari, in cui viene prodotta massa)

3) BILANCIO DI ENERGIA

$$[W] \quad \frac{dE}{dt} = \sum_{i=1}^{n} \dot{m}_{i\,IN}\left(h_i + e_{c,i} + e_{p,i}\right)_{IN} - \sum_{j=1}^{m} \dot{m}_{j\,OUT}\left(h_j + e_{c,j} + e_{p,j}\right)_{OUT} \pm \dot{Q} \pm \dot{L}_N \pm \left(\dot{Q}^*_V\right)$$

- $\frac{dE}{dt}$: l'energia del sistema varia nel tempo (aumenta o dim.) a causa dell'ingresso di massa che porta con sé energia o per l'introduzione di calore $\dot{Q}$ e/o lavoro
- $\dot{Q}^*_V$: dovuta a reazioni chimiche/nucleari o al passaggio di corrente (dissip. en. per eff. Joule) → generazione di calore (interna)

per la convenzione di segno:



N.B. Le grandezze intensive (locali) (= grandezze estensive per unità di massa), si indicano con le lettere minuscole.

entalpia (grand. intens.) $h = u + pv$ → È la somma di una funzione di stato (u) con il prodotto di pressione e volume specifico.

u: energia interna; v: volume specifico (V/m)

▷ Con l'entalpia riesco a correggere il termine di lavoro, ottenendo il lavoro netto, che è quello che ci interessa.

Si introduce l'entalpia nel bilancio di energia in modo tale da avere solo lavoro netto (in senza il termine di lavoro di pulsione, che è già contenuto nella definizione di entalpia!

energia totale (grandezza estensiva) $E = U + E_c + E_p$ — È interna perché il sistema è fermo!

in generale sono nulli poiché il sistema non si muove e non cambia quota.

4) BILANCIO DI ENTROPIA → introduzione di massa che porta con sé una certa entropia

$$\left[\frac{W}{K}\right] \quad \frac{dS}{dt} = \sum_{i=1}^{n} \dot{m}_{i,IN}\, s_{i,IN} - \sum_{j=1}^{m} \dot{m}_{j,OUT}\, s_{j,OUT} + \sum_{k} \frac{\dot{Q}_k}{T_{s,k}} + \dot{S}^*_{GEN}$$

calore scambiato (convenz. di segno)

- $\frac{dS}{dt}$: L'entropia del sistema varia nel tempo per l'introduzione di massa (con una sua entropia) e per lo scambio di calore.
- $\dot{m}_{i,IN}\, s_{i,IN}$: massa in entrata porta S
- $\dot{m}_{j,OUT}\, s_{j,OUT}$: massa in uscita porta via S
- $T_{s,k}$: temperatura sorgente esterna non del sistema (CALORE IN INGRESSO → $>S$; CALORE IN USCITA → $<S$)
- $\dot{S}^*_{GEN}$: generazione di entropia dentro il sistema, legato alle irreversibilità (interne ed esterne)

$$S^* \geq 0$$

(NON C'È UN POZZO)

NO LAVORO → questo si scambia solo nel 1° principio. (?)

Questi scambi avvengono alla frontiera.

Casi particolari: termini di portata

- sistema chiuso $\frac{dM}{dt} = 0$
- sistema stazionario $\frac{dM}{dt} = \frac{dE}{dt} = \frac{dS}{dt} = 0$
- sistema rigido $\mathcal{L}_{netto} = 0$ (c'è solo lavoro di pulsazione, dentro R)
- sistema adiabatico $Q = 0$
- sistema reversibile $\dot{S}^*_{GEN\,(IRR)} = 0$ (d'attr. = 0)

Equazione di STATO GAS PERFETTI (valgono solo per questi) ① $pV = RT$

costante variabile da gas a gas

grandezze intensive (in unità di massa)

* Relazione tra p, v con la temperatura T.

$pV = nR^*T$ (grandezze estensive)

con $R^* = 8{,}314\ J/mol\,K$ COSTANTE UNIVERS.

$$R = \frac{R^*}{M} = 287\ \frac{J}{kg\,K}$$

② $du = c_v dT$ → si considera indipendente da T (cost.)

$U = M c_v T + u_0$ → (ottenuta integrando)

$= M(c_v T + u_0)$

* L'energia interna dipende dalla temperatura T e se assumo c_v cost., ci ha dipendenza lineare da T.

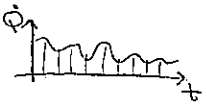
Equazioni del TdS → valgono sempre e non per mezzi specifici, vale per qualunque percorso.
Ci servono per il calcolo di entropia.

USARE TABELLE

OSS. I bilanci ora descritti vanno bene per sistemi aperti.
Per i SISTEMI CHIUSI E NON STAZIONARI uso i BILANCI INTEGRATI NEL TEMPO perché non voglio sapere come la grandezza varia istante per istante, ma dall'istante iniziale a quello finale.

$$\int_0^{t_F} \frac{dE}{dt}\,dt = E(t_F) - E(t=0) = \Delta E$$ → la derivata diventa una variazione, mentre i termini di dx diventano:

$$\int \dot{E}\,dt = \Delta E \qquad \int \dot{Q}\,dt = Q$$



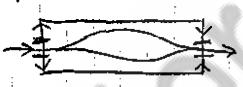
$E_c = E_p = 0$ ⇓

$$\Delta U = Q - \cancel{L}$$ → NON IMPORTA PERCHÉ, IN UN SIST. CHIUSO NON C'È LAVORO DI PULSIONE.

$$\Delta S = \sum_k \frac{Q_k}{T_{sk}} + S_{GEN}$$

Teorema di Bernoulli (approfondimenti) → È un bilancio della quantità di moto

IPOTESI del sistema: 1) CONDIZIONI STAZIONARIE
2) CON UN INGRESSO E UN'USCITA (es. turbina, scambiatore di calore) ma deve essere connesso, senza ramificazioni interne!

Ad es.  Non posso applicare il teorema poiché non ho un'unica portata.

poiché si ricava in forma infinitesima, ovvero:

$$\delta l_n = -\left(v\,dp + de_c + de_p + \delta l_{attrito}\right)$$

δl_n: lavoro netto; de_c: en. cin.; de_p: en. pot.; $\delta l_{attrito}$: termine legato alle irreversibilità del processo (deriva da $T\,\delta s_{gen}$ = entropia generata)

(Generalizzazione, applicabile anche in condiz. di irrevers., tenendo conto dell'ultimo termine a dx)

Possiamo scriverla anche per trovare il lavoro totale:

LAVORO TOT. $\delta l = \delta l_n + d(pv)$ ⟹ $\delta l = -\cancel{v\,dp} - de_c - de_p - \delta l_{attr} + p\,dv + \cancel{v\,dp}$

(δl_n = lavoro netto; $d(pv)$ = lavoro di pulsione)

Il teorema di Bernoulli applicato a:

- FLUIDO INCOMPRIMIBILE → È utile per determinare salti di pressione ecc. Non avendo variazioni di volume specifico ($\Delta v = 0 \rightarrow$ densità cost.) risulta banale l'integrale: $\int v\,dp = v\,\Delta p$
- GAS → non mi dà risposte quantitative, ma qualitative, poiché NON CONOSCO LA DIPENDENZA di v da p (RELAZIONE v-p), a meno di casi particolari. $\int v\,dp$ non banale ⟹ allora uso: $v_{medio} \cdot \Delta p$

Casi particolari:
- trasformaz. reversibile (NO δl_{attr})
- ISOENTROPICA (= ADIAB. REV.) → $pv^\gamma = cost.$ (GAS PERFETTI)
- ISOTERMA → $pv = cost.\ (= RT)$

→ li inserisco ed integro: $\int v\,dp$



δl_{ATTR} = termine legato a:

1) PERDITE DISTRIBUITE = perdite di attrito, legate al flusso che si genera dentro il condotto; legate alla lunghezza e al diametro del condotto e viscosità e velocità del fluido. (sforzo di taglio)
Avvengono anche in condotti rettilinei, lisci, orizzontali.
(bilancio quantità di moto (1ª legge - dinamica))

2) PERDITE CONCENTRATE → determinate sperimentalmente da salti di pressione dovuti a discontinuità, es. cambi di sezione, restringimenti, angoli o curve a vari gradi di inclinazione.
→ Si ricavano coefficienti correttivi di perdite concentrate, poi inseriti nel bilancio. (MANUALE)

Continuo: 07/03/17

Determinare il lavoro di attrito (irreversibilità):

$\ell_{ATTR} = \ell_{ATTR.C} + \ell_{ATTR.D}$

- $\ell_{ATTR.C}$: lavoro di attrito perdite concentrate
- $\ell_{ATTR.D}$: lavoro di attrito distribuito o delle perdite distribuite (>0) → porta come contributo una perdita di pressione poiché contiene l'entropia generata

Si ricava dal bilancio della quantità di moto (per un fluido)

N.B. Il lavoro di attrito causa perdite di pressione (PERDITE DI CARICO), ma non è detto che il sistema diminuisca la sua pressione, poiché ci sono anche altri termini che potrebbero aumentarla.

■ Prima introduciamo il concetto di viscosità:



$\dot{m} = \rho \cdot (w_m) S = \rho \int_S \vec{w}\cdot\hat{n}\, dS$

w_m: velocità media

$\vec{w}\cdot\hat{n} = u$ (centrone)

La velocità ha componente longitudinale, normale alla sezione del condotto (stessa direzione dell'asse e segno dato dal prodotto scalare) ⇒ $\vec{w}\cdot\hat{n} = u$

Nei bilanci uso questa velocità: velocità media in termini di portata ≠ vel. media in termini di Ecin.

OSS. Se u fosse cost. sulla sezione ⇒ $w_{media} = u$

Problema: Nei condotti non abbiamo profili costanti, ma la velocità varia da 0 (in corrispondenza della parete) a massima (al centro del condotto). Un condotto circolare (simmetrico) crea un profilo di velocità trasversale, al quale bisogna calcolare la media.
Con i bilanci integrali bisogna sapere quale velocità media usare.

- L'unica componente di velocità è lungo z, non ho componenti azimutali (lungo φ) poiché è invariante per rotazione né radiali (lungo r). (in realtà questa potrebbe esserci).

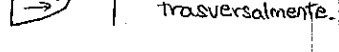
In generale la velocità ha 3 componenti, ciascuna dipendente da 4 variabili: r, φ, z e t.
In questo caso è solo z che dipende dal raggio r (unica variabile!)
⇒ $u(r)$

Dunque: $\bar{W} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ u \end{bmatrix}$ ($\hat{e}_r$, $\hat{e}_\varphi$, $\hat{e}_z$), $u(r)$

- CONDIZ. STAZ. → velocità non dipende dal tempo (t)
- ASSIAL-SIMMETRIA → velocità non dipende da φ e z

OSS. Se il profilo è costante ⇒ la velocità è costante
ma IN REALTÀ ALLA PARETE HO UNA CONDIZIONE DI NON SCORRIMENTO (EQUILIBRIO LOCALE), cioè $v_{fluido} = v_{parete}$, cioè il fluido si muove solo se la parete si muove e rimane fermo ($v=0$), se la parete è ferma.
Abbiamo quindi:

CONDIZIONI AL CONTORNO
- $u(R) = 0$ — EQUILIBRIO TERMO-FLUIDO DINAMICO (Raggio condotto circolare; derivato dall'esperienza)
- $\left.\frac{\partial u}{\partial r}\right|_{r=0} = 0$ — CONDIZIONE DI SIMMETRIA (cioè sull'asse)



■ Legge costitutiva dei fluidi: sforzo viscoso e gradienti di velocità

→ Un fluido oppone resistenza ad uno scorrimento orizzontale (azione tangenziale) o a sforzi radiali (es. compressione). Quando il fluido è fermo, invece, non oppone resistenza.

IN PRESENZA DI GRADIENTI TRASVERSALI DI VELOCITÀ SI ATTIVANO SFORZI DI TAGLIO (SFORZI VISCOSI) legati a fenomeni diffusivi, interpretati come una "tensione tangenziale".

Forze di iterazione fra molecole (di tipo elettrico), ma usate per modelli macroscopici (lo strato più veloce "tira" quello più lento, che invece "rallenta" l'altro).

$\tau \propto \frac{\partial u}{\partial r}$ (diff. di velocità / distanza) → SFORZO VISCOSO = azione di taglio tra strati a velocità diverse. È proporzionale al gradiente di velocità.

$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial r}$ — SFORZO VISCOSO [F/sup.] → HP. DI NEWTON (FLUIDI NEWTONIANI)

⚠ Il PLASMA non si comporta come un fluido newtoniano

gradiente di velocità (derivata trasversale alla 1ª della velocità) — È una proprietà del flusso.

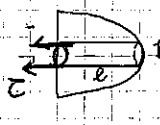
μ ["ni"] Coefficiente di viscosità dinamica (proprietà del fluido)

$\begin{cases} \mu_{H_2O} = 10^{-3}\ Pa\cdot s \\ \mu_{aria} = 10^{-5}\ Pa\cdot s \end{cases}$

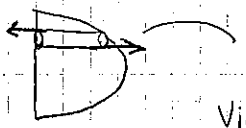
$>\mu \Rightarrow >\tau$
$>>|\tau| \Rightarrow <<u$

unità di misura: τ [Pa], v [m/s], r [m] $\Rightarrow \mu$ [Pa·s]

segno: Bisogna capire qual è il sistema e chi esercita τ.



Se scelgo come sistema un cilindro lungo l e raggio r', nell'asse del condotto, lo sforzo che avverrà sulla superficie laterale del cilindretto tenderà a rallentare il flusso perché al di fuori di esso ho una velocità più bassa rispetto a quella del mio sistema $\Rightarrow \tau$ opposto al moto!



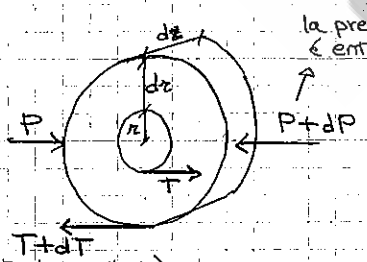
il fluido a v lenta tende a rallentare ($\tau<0$), quello con velocità maggiore tende a velocizzare ($\tau>0$)

Vicino alla parete: la parete rallenta il fluido ($\tau<0$) e il fluido accelera la parete ($\tau>0$).

$\Rightarrow$ Se un sistema ha intorno strati più veloci, verrà accelerato, se ha intorno strati più lenti, verrà rallentato!

BILANCIO DELLA QUANTITÀ DI MOTO di un FLUIDO

Modello: condotto a sezione circolare



Applico il bilancio a un volume infinitesimo: tubicino/corona cilindrica di spessore dr e lunghezza dz.

- Siamo in condizioni statiche $\Rightarrow$ non c'è variazione di velocità tra z e z+dz. $\Rightarrow$ le forze si bilanciano e vale F=ma.

Bilancio di forze sui contorni: laterale interno = $2\pi r \cdot dz$; laterale esterno = $2\pi \cdot (r+dr)\,dz$; sulle basi
- di pressione (longitudinali)
- viscose (tangenziali/di taglio)

Bilancio F: ~~$P+T=P+dP+T+dT$~~

$dP = -dT$

- La P agisce sulla base, cioè la corona circolare che ha area = $2\pi r\,dr$; varia lungo z (verso valle) ed è cost. ∀ sezione: $dP = \frac{\partial P}{\partial z} \cdot 2\pi r\,dr$
- τ varia radialmente