Centro Stampa

N° 4416

MACCHINE (PRIMA PARTE)
TEORIA 2021-22

DI MEMMOLA GIUSEPPE

29/09/2021

Noi parleremo di MACCHINE A FLUIDO

[Macchine che convertono energia utilizzando un fluido come mezzo]

In questa TABELLA abbiamo tutte le POSSIBILI CLASSIFICAZIONI

Fluid machines				
	Thermal machines		**Hydraulic machines**	
	Operating machines	**Motor machines**	**Operating machines**	**Motor machines**
Volumetric machines	Volumetric compressors	Internal combustion engines	Volumetric pumps	Positive displacement motors
Turbo-machines	Turbo-compressors	Gas and steam turbines	Turbopumps and fans	Hydraulic turbines

1) Classificazione principale è fra:

- MACCHINE OPERATRICI : ASSORBONO POTENZA MECCANICA DALL'ESTERNO x INCREMENTARE IL LIVELLO ENERGETICO DEL FLUIDO

PRESSIONE in COMPRESSORI, VELOCITÀ in VENTILATORI, QUOTA e PRESSIONE nelle POMPE ecc...

- MACCHINE MOTRICI: PRODUCONO EN. MECCANICA RENDENDOLA DISPONIBILE AD UN UTENTE (ad esempio un'automobile, una qualsiasi macchina, ect...) e x FARE QUESTO UTILIZZANO IL CONTENUTO ENERGETICO PRESENTE NEL FLUIDO

PUO' ESSERE EN. ELETTRICA, CHIMICA ect..., PROVENIENTE DA DIVERSE FONTI PRIMARIE

2) Classificazione in base al PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO:

- TURBOMACCHINE:
  - (turbine, compressori) MACCHINE CHE SCAMBIANO ENERGIA e FORZE COL FLUIDO ATTRAVERSO PRINCIPI DINAMICI (VARIAZIONI DI QUANTITA' DI MOTO)
  - TENDENZIALMENTE C'E' UN FLUSSO CONTINUO AL LORO INTERNO E, IN LINEA DI MASSIMA, LAVORANO IN CONDIZIONI MEDIAMENTE STAZIONARIE (PORTATA COSTANTE)

- MACCHINE VOLUMETRICHE:
  - FORZE SCAMBIATE COL FLUIDO DI NATURA STATICA (FORZE DI PRESSIONE)
  - FUNZIONAMENTO BASATO SU PRESENZA DI CAMERE A VOLUME VARIABILE
  - FUNZIONAMENTO NON CONTINUO, MA CICLICO

Parleremo in futuro di CICLI DI LAVORO

3) Classificazione per CARATTERISTICHE DEL FLUIDO DI LAVORO:

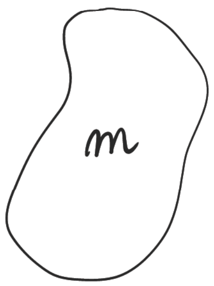
- **MACCHINE TERMICHE:** LAVORANO CON UN FLUIDO COMPRIMIBILE (GAS o VAPORE), CON I FENOMENI TERMICI CHE INFLUENZANO LE PRESTAZIONI DELLA MACCHINA

- **MACCHINE IDRAULICHE:** SI LAVORA CON UN <u>FLUIDO IDEALMENTE INCOMPRIMIBILE</u> (ACQUA o OLIO MINERALE IDEALMENTE INCOMPRIMIBILE)

DENSITA' COSTANTE E SOSTANZIALE INDIPENDENZA DELLE PRESTAZIONI (POTENZA e RENDIMENTO) DAI FENOMENI TERMICI

Passiamo ad un RIPASSO GENERALE

- **PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA – SISTEMI CHIUSI**

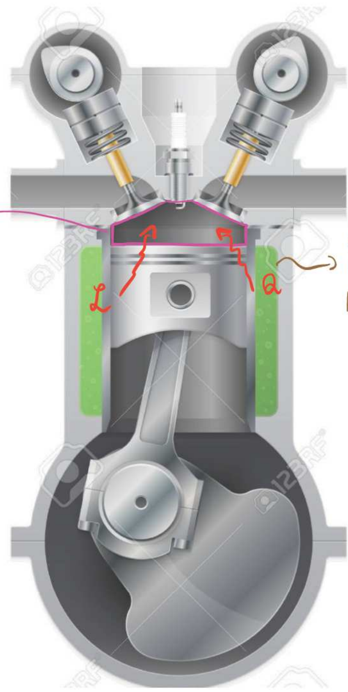


$t_1 \rightarrow t_2$

Un SISTEMA CHIUSO e' un sistema costituito da una certa MASSA che NON SI MODIFICA, con SUPERFICIE IMPERMEABILE

Si studia l'evoluzione di questo sistema dal tempo t_1 a t_2 durante il quale il sistema cambia il suo stato termodinamico da STATO 1 a STATO 2.

Classico esempio di SISTEMA CHIUSO è quello di un MOTORE A COMBUSTIONE INTERNA



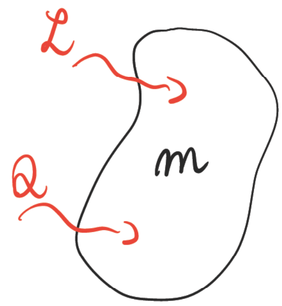
QUI ENTRAMBI ENTRANTI, MA A CASO

In fase di compressione possiamo introdurre una SUPERFICIE DI CONTROLLO (IMPERMEABILE a meno delle perdite)

Quindi possiamo modellare questo sistema come un sistema chiuso che scambia LAVORO TERMODINAMICO ($\mathcal{L}$) e CALORE CON L'ESTERNO (Q)

Quindi PRIMO PRINCIPIO (l'ENERGIA SI CONSERVA):

$$\boxed{Q + \mathcal{L} = \Delta \mathcal{E}}$$



Sistema scambiando calore e lavoro con l'ext modifica la propria energia ($\Delta \mathcal{E}$) nel tempo fra t_1 e t_2

$$\boxed{\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1}$$

OSS: è una FUNZIONE DI STATO

L'energia $\mathcal{E}$, a differenza di calore e lavoro, è una PROPRIETÀ e quindi NON DIPENDE DAL PERCORSO SEGUITO, ed È FORMATA DA DIVERSI CONTRIBUTI

$$\boxed{\mathcal{E} = \text{ENERGIA} = \mathcal{U} + \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_g + \mathcal{E}_\omega}$$

EN. INTERNA — EN. CINETICA — EN. POT. GRAVITAZIONALE — EN. POT. DELLE FORZE CENTRIFUGHE

$\mathcal{E}_\omega$ presente quando il sistema di riferimento è NON INERZIALE

Quindi abbiamo:

FORMA DI ENERGIA MICROSCOPICA

- $\mathcal{U}$ = en. interna $\xrightarrow{\text{x un sistema chiuso}}$ $\boxed{\mathcal{U} = \int_m U\, dm}$ → INTERNA AL FLUIDO E DIP. DALLA COMPOSIZIONE E DALLA TEMPERATURA, MA x UN GAS DALLA COMPOSIZIONE NOTA (ad es. ARIA) LA U DIP. SOLO DALLA TEMPERATURA

FORME DI ENERGIA MACROSCOPICHE XK, A DIFFERENZA DELL'ENERGIA INTERNA, SONO VISIBILI A OCCHIO NUDO

- $\mathcal{E}_c$ = en. cinetica → $\boxed{\mathcal{E}_c = \int_m E_c\, dm}$
  ASSOCIATA AL MOTO DEL FLUIDO
  EN. CINETICA MASSICA $\boxed{E_c = \frac{c^2}{2}}$ (sist. di rif. fisso) c = VELOCITA' FLUIDO
- $\mathcal{E}_g$ = en. pot. gravitazionale → $\boxed{\mathcal{E}_g = \int_m E_g\, dm}$
  $\boxed{E_g = g \cdot z}$ g = ACC. DI GRAVITA', z = CERTA QUOTA VERTICALE
- $\mathcal{E}_\omega$ = en. pot. forze centrifughe → $\boxed{\mathcal{E}_\omega = \int_m E_\omega\, dm}$ → COMPARE QUANDO NELLO STUDIO SI ADOTTANO DEI SISTEMI DI RIFERIMENTO NON INERZIALI (USEREMO SISTEMI ROTANTI)
  $\boxed{E_\omega = -\frac{u^2}{2}}$ u = CERTO POTENZIALE
  $\boxed{E_\omega \equiv 0}$ → (IN CASO DI SIST. DI RIF. INERZIALE) → XK NON CI SONO FORZE CENTRIFUGHE

OSS 1:

In CORSIVO (es: $\mathcal{E}_e$) indichiamo le QUANTITA' ESTENSIVE

In STAMPATELLO (es: E_c) la corrispondente QUANTITA' MASSICA (GRANDEZZA INTENSIVA)

OSS 2:

Queste grandezze sono calcolate come integrali all'interno del sistema e possono essere zone con diverse proprietà

Adotteremo l'ipotesi di SISTEMA OMOGENEO per avere una semplificazione di natura matematica

Per un SISTEMA OMOGENEO facciamo riferimento alle GRANDEZZE MASSICHE

$$\left[q = \frac{Q}{m} \; ; \; l = \frac{L}{m} \; ; \; u = \frac{U}{m} \quad \text{ect} \right]$$

Possiamo quindi scrivere il PRIMO PRINCIPIO in qst modo:

$$\boxed{q + l = \Delta u + \Delta e_{\underbrace{c,g,w}}}$$

FORMA PRIMO PRINCIPIO CHE UTILIZZEREMO QUANDO FAREMO RIFERIMENTO ALLA FORMA LAGRANGIANA

scritto così per sbrigarsi prima ma vuol dire $\Delta e_c + \Delta e_g + \Delta e_w$

Può esserci una piccola variante, ovvero che anziché considerare una EVOLUZIONE FINITA, si può considerare una EVOLUZIONE INFINITESIMA fra t e $t + dt$ e allora i delta (Δ) diventano dei differenziali (d)

$$\boxed{dq + dl = du + de_{c,g,w}}$$

EQUAZIONE OTTENUTA COME SE FOSSE UN ASSIOMA

PRINCIPIO DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA IN FORMA MECCANICA

↳ Viene ricavata integrando la FORMULA di NEWTON (2° PRINCIPIO della DINAMICA)

↳ $\boxed{\vec{F} = m \cdot \vec{a}}$

- con SPOSTAMENTO ds
- vale x accelerazioni costanti

Si giunge a scrivere la formula

EQUAZIONE RICAVATA DA PRINCIPIO DINAMICA

$$\boxed{dL = -\underbrace{p}_{\text{PRESSIONE}}\,d\underbrace{v}_{\text{VOLUME MASSICO}} + dE_c + dE_g + dE_w + dL_w}$$

dL: LAVORO TERMODINAMICO (STESSO DI PRIMA)

dL_w: NOVITA'

dL_w = LAVORO DELLE RESISTENZE PASSIVE (IN TERMODINAMICA È $\geq \emptyset$)

↳ Raccoglie tutti i termini dovuti alle forze viscose, ovvero FORZE DISSIPATIVE (dissipano energia)

↳ Fa sì che la TRASFORMAZIONE sia IRREVERSIBILE con $dL_w > \emptyset$

Ultime 2 EQUAZIONI possono essere COMBINATE e facendo differenza fra 1ª e 2ª:

$$+)\quad dQ + dL = dU + dE_{c,g,w}$$

$$-)\quad dL = -p\,dv + dE_c + dE_g + dE_w + dL_w$$

$$dQ = dU + p\,dv - dL_w \Rightarrow$$

Da cui si ricava un eqn che può essere utile

$$\boxed{dQ + dL_w = dU + p\,dv}$$

EQUAZIONE AUSILIARIA

Se introduco l' $\boxed{\text{ENTALPIA} = h = U + pv}$ $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \boxed{dQ + dL_w = dh - v\,dp}$$

ALTRA FORMA x ESPRIMERE L' EQN AUSILIARIA

SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Grazie ad esso noi teniamo conto delle IRREVERSIBILITÀ nei sistemi pratici, introducendo una <u>FUNZIONE DI STATO</u> chiamata <u>ENTROPIA (S)</u>

Consideriamo le IRREVERSIBILITÀ INTERNE (generate internamente al sistema) e introduciamo il <u>DIFFERENZIALE ESATTO DELL' ENTROPIA:</u>

$$\boxed{\underbrace{dS}_{\text{DIFFERENZIALE ESATTO}} = \underbrace{\frac{dQ + dL_w}{T}}_{\text{FUNZIONE DELLA TRASFORMAZIONE}}}$$

con S = ENTROPIA MASSICA

OSS: Formula sarebbe più complessa, ma noi ci limitiamo a questa con solo le dissipazioni x effetto viscoso

Equ può essere anche scritta come:

$$\boxed{TdS = dQ + dL_w}$$

$$\underbrace{TdS}_{\text{DIFFERENZIALI ESATTI}} \quad \underbrace{dQ + dL_w}_{\text{FUNZIONI DELLA TRASFORMAZIONE}}$$

Utilizzando le EQUAZIONI AUSILIARIE ⇒

⇒ $\boxed{TdS = dU + pdv}$ oppure $\boxed{TdS = dh - vdp}$

e sono chiamate EQUAZIONI TdS

↓

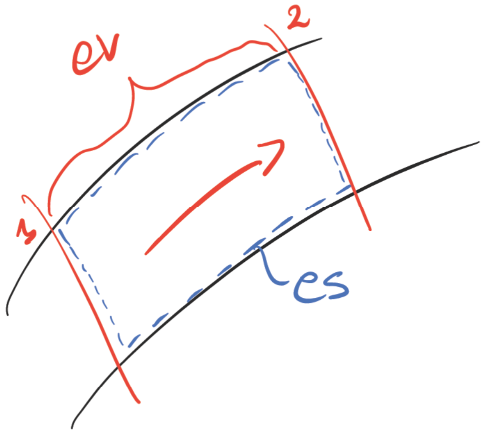
Servono a valutare variazioni di entropia

EQUAZIONI DELLA FLUIDODINAMICA PER SISTEMI APERTI

(o VOLUMI DI CONTROLLO)

- Usando dei volumi di controllo si applica un PUNTO DI VISTA EULERIANO dello studio dei sistemi

- Abbiamo SISTEMA APERTO nel senso che la MASSA AL SUO INTERNO SI RINNOVA



Voglio vedere che succede al flusso di fluido che passa fra sezione 1 e 2

Per studiare il mio SISTEMA APERTO posso usare il sistema chiuso cs (Control System) che a un certo istante di tempo si trova nel mio VOLUME DI CONTROLLO cv (Control Volume)

1) EQUAZIONE DI CONTINUITÀ o CONSERVAZIONE DELLA MASSA

- Si conserva la massa del SISTEMA CHIUSO cs

$$\boxed{dm_{cs} = \emptyset}$$

- Nel VOLUME DI CONTROLLO cv (SISTEMA APERTO) invece:

(con $t \to t+dt$) $\quad dm_{cv} = dm_1 - dm_2 \Rightarrow$

$\Rightarrow$ aggiungendo il dt ⊛ $\Rightarrow \quad dm_{cv} = \dot{m}_1\,dt - \dot{m}_2\,dt \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{dm_{cv}}{dt} = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 \Rightarrow \boxed{\frac{dm_{cv}}{dt} + \dot{m}_2 - \dot{m}_1 = \emptyset}$$

GIUSTO X AVERE 1° MEMBRO = ∅
COSÌ DA AVERE ANALOGIA
CON $dm_{cs} = \emptyset$

LA DIFFERENZA FRA LE 2 EQN OTTENUTE E' CHE NELLA SECONDA SONO PRESENTI I TERMINI DI FLUSSO

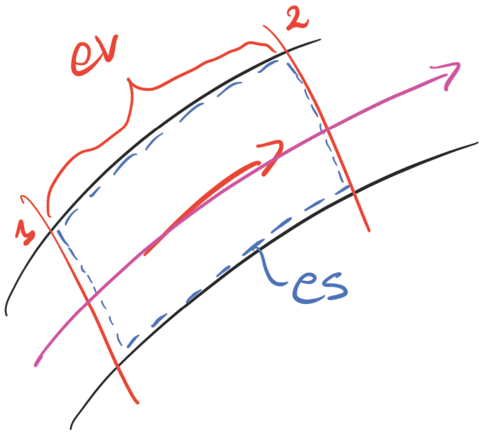
(*) LO FACCIAMO INTRODUCENDO LE PORTATE :

DEF. DI PORTATA $\boxed{\dot{m} = \frac{dm}{dt}}$ → da cui $\dot{m}_1 = \frac{dm_1}{dt}$, $\dot{m}_2 = \frac{dm_2}{dt}$

• SI PUO' AVERE :

- MOTO 1D

Noi parleremo spesso di MOTO 1D, ovvero esiste un unica coordinata spaziale come in figura (↗) e in direzione ⊥ a quella coordinata le proprietà termodinamiche e la velocità sono uniformi.



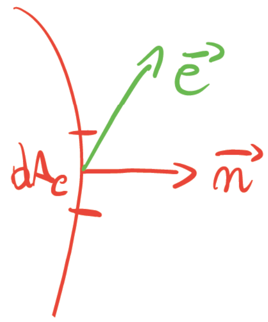
$$\boxed{\dot{m} = \rho \cdot A \cdot c}$$

PORTATA IN MOTO 1D

ρ e c sono UNIFORMI e c'è geometria tale affinchè le sezioni 1 e 2 siano ⊥ alla coordinata

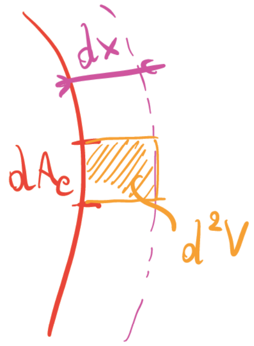
- MOTO 3D

Posso avere una sezione generica con delle variabili che non sono uniformi sulla sezione, e per ogni elemento della superficie di controllo dA_c, se identifichiamo il versore normale alla superficie $\vec{n}$ POTREMO avere una velocità $\vec{e}$ NON $\perp$ alla superficie.



$\Rightarrow$ DAL PUNTO DI VISTA MATEMATICO: Introduzione di INTEGRALI

$\Downarrow$



Il fluido che esce da dA_e percorre una distanza dx che è $\perp$ alla sup. e quindi sarà:

$$\boxed{dx = (\vec{e} \cdot \vec{n}) \cdot dt}$$

Mentre il volume di fluido uscente da questa sezione è un DIFFERENZIALE del 2° ORDINE d^2V che sarà:

$$\boxed{d^2V = dA_e \cdot dx}$$

$\Downarrow$

Moltiplicando tutto x la densità ρ:

$$\underbrace{\rho\, d^2V}_{d^2m} = \rho\, dA_e\, (\vec{e} \cdot \vec{n})\, dt$$

$\Downarrow$ dividendo tutto x dt (d^2m ma da $\frac{d^2m}{dt} = d\dot{m}$)

$$d\dot{m} = \rho \cdot dA \cdot (\vec{e} \cdot \vec{n}) \longrightarrow \text{PORTATA SU SEZIONE } dA$$

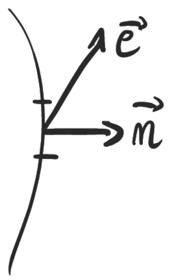
$\Downarrow$ Quindi la portata complessiva attraverso una sezione (A_2 ad es.) è:

$$\boxed{\dot{m}_2 = \int_{A_2} \rho\, (\vec{e} \cdot \vec{n})\, dA}$$

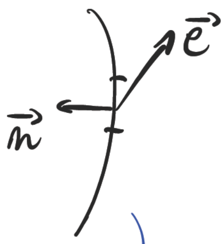
↓

Questo si può estendere su tutta la superficie di controllo, infatti:

SEZIONE 2



SEZIONE 1



In SEZ. 1 abbiamo sempre normale $\vec{n}$ VERSO L'ESTERNO, che in questo caso è VERSO SX, e la velocità però è ENTRANTE NEL SISTEMA

⇓

Quindi avremo $\vec{e}\cdot\vec{n} < 0$ e quindi ripartendo da equazione trovata prima $\frac{dm_{cv}}{dt} + \dot{m}_2 - \dot{m}_1 = 0$

OTTERREMO ⇓

MASSA NEL TEMPO NON E' OMOGENEA, QUINDI SI VUOLE INTEGRALE X SOSTITUIRE $\frac{dm_{cv}}{dt}$

SOSTITUISCE $\dot{m}_2 - \dot{m}_1$

$$\boxed{\underbrace{\frac{\partial}{\partial t}\int_{V_e} \rho \cdot dV_e}_{\text{TERMINE NON STAZIONARIO}} + \underbrace{\int_{A_e} \rho \cdot (\vec{e}\cdot\vec{n}) \cdot dA_e}_{\text{TERMINE DI FLUSSO}} = 0}$$

EQUAZIONE DI CONTINUITA'

SI USA DERIVATA ORDINARIA PERCHE' dm_{cv} DIPENDE SOLO DAL TEMPO

XK E' $\neq 0$ SOLO CON MOTO NON STAZIONARIO

CON MOTO STAZIONARIO LE DERIVATE NEL TEMPO SONO $= 0$ E QUINDI IL TERMINE SPARISCE

Se parliamo di MOTO 1D, STAZIONARIO, cosa che faremo spesso parlando di TURBINE e COMPRESSORI

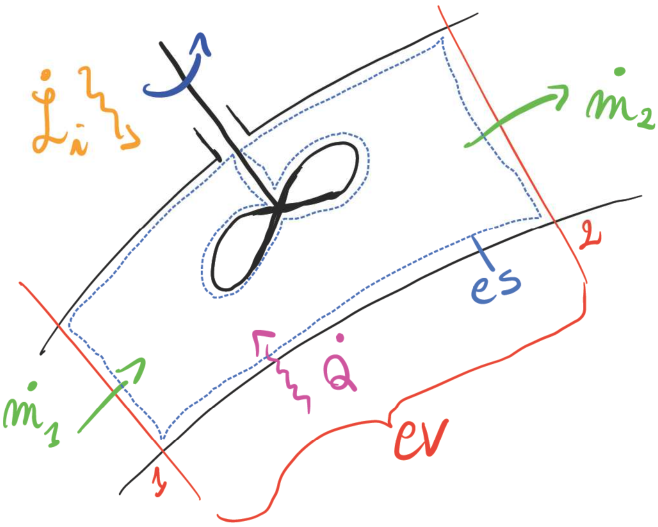
⇓

$$\underbrace{\frac{dm_{ev}}{dt} = \emptyset \quad ; \quad \dot{m}_2 - \dot{m}_1 = \emptyset}$$

⇓ QUINDI LE PORTATE DI INGRESSO E DI USCITA SONO UGUALI

$$\boxed{(\rho \cdot A \cdot c)_2 = (\rho \cdot A \cdot c)_1}$$

2) PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA (SISTEMI APERTI)



In quanto parliamo anche di scambio di lavoro consideriamo la presenza di un albero con un'elica che gira

Questo albero scambierà lavoro nel tempo e lo indichiamo con $\dot{\mathcal{L}}_i$ = POTENZA MECCANICA SCAMBIATA CON GLI ORGANI MOBILI

i → INTERNO

IMPORTANTE differenziarlo dal lavoro $\mathcal{L}$ visto prima (e quindi il corrispondente $\dot{\mathcal{L}}$) è un LAVORO TERMODINAMICO, che il sistema chiuso scambiava su tutta la superficie

Questa potrebbe essere un PISTONE (quindi LAVORO INTERNO), ma anche un altro fluido (ESTERNO)

⇓

Quindi in generale $\dot{\mathcal{L}}_i$ E' UNA PARTE DI $\dot{\mathcal{L}}$, quindi è comodo distinguerli

AVREMO INOLTRE:

$\dot{Q}$ = Scambio di calore

$\dot{m}$ = Portata in in ingresso (1) e in uscita (2), che saranno diverse xk consideriamo in generale un moto NON stazionario

cv = Volume di controllo

cs = Sistema chiuso presente nel cv ad un dato istante di tempo.

↳ X QUESTO SISTEMA CHIUSO POSSIAMO SCRIVERE IL 1° PR. della TERM.:

⇓

$$\left[dQ + d\mathcal{L} = dE_{cs} \right]$$

Considerando un evoluzione da t a $t+dt$, se divido per dt, allora ottengo:

$$\boxed{\dot{Q} + \dot{\mathcal{L}} = \frac{dE_{cs}}{dt}}$$

ABBIAMO ENERGIA CHE NEL TEMPO PUÒ CAMBIARE IN FUNZIONE DI CALORE E LAVORO

VEDIAMO PER QUANTO TROVATO 2 ASPETTI:

1) Per il volume di controllo CV, in quanto all'istante t_0 contiene proprio il sistema chiuso CS, allora per CV e CS abbiamo gli stessi $\dot{Q}$ e $\dot{L}$, quindi avremo:

$$\boxed{\dot{Q} + \dot{L} = \underbrace{\frac{dE_{cv}}{dt}}_{} + \underbrace{\dot{m}_2 E_2 - \dot{m}_1 E_1}_{}}$$

ENERGIA CONTENUTA NEL VOLUME DI CONTROLLO NELL'INTERVALLO DI TEMPO

TERMINI DI FLUSSO CHE NON SARANNO PIU' PORTATE, MA ENERGIE NELL'UNITA' DI TEMPO

SI DIMOSTRA CHE I TERMINI DI FLUSSO SONO COSTITUITI DALLA PORTATA × LA GRANDEZZA MASSICA

2) Per quanto riguarda il lavoro è un LAVORO di tipo TERMODINAMICO

↳ SCAMBIATO SU TUTTE LE SUPERFICI DI CONTROLLO DEL SISTEMA

Ma se la forza è su tutte le superfici, per vedere dove è scambiato il lavoro, bisogna vedere DOVE FORZE (PRESSIONE × AREA) CREANO SPOSTAMENTO E ALLORA LI' SI COMPIRA' LAVORO

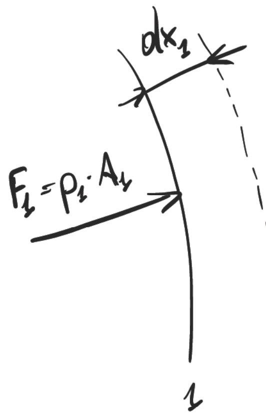
- IN SEZIONI DI INGRESSO E USCITA
- SULLA VENTOLA

Mentre su tutte le altre superfici c'è forza, ma NON SPOSTAMENTO

↘ Quindi:

$$\dot{\mathcal{L}} = \dot{\mathcal{L}}_i + \overbrace{\dot{\mathcal{L}}_1 + \dot{\mathcal{L}}_2}^{\text{LAVORO NEL TEMPO SU SUP. 1 e SUP. 2}}$$

- SEZIONE 1



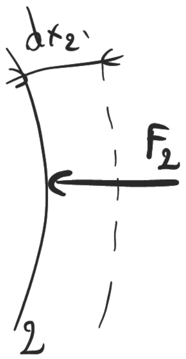
Qui abbiamo per SEZ. 1 che FORZA E' APPLICATA DA ESTERNO, quindi FORZA CONCORDE A SPOSTAMENTO ⇒

⇒ LAVORO POSITIVO

↓

OSS: STIAMO CONSIDERANDO POSITIVO LAVORO ESERCITATO DA ESTERNO SUL SISTEMA

- SEZIONE 2



Qui FORZA E' OPPOSTA A SPOSTAMENTO

⇒ LAVORO NEGATIVO

↓

E' IL SISTEMA CHE STA SPINGENDO SULL' ESTERNO

$$\left[\dot{\mathcal{L}} dt = \dot{\mathcal{L}}_i \cdot dt + p_1 A_1 dx_1 - p_2 dA_2 dx_2 = \dot{\mathcal{L}}_i dt + p_1 dV_1 + p_2 dV_2\right]$$

SI PUO' SCRIVERE ANCHE COSI' IN QUANTO

$$dV_1 = dx_1 \cdot dA_1$$

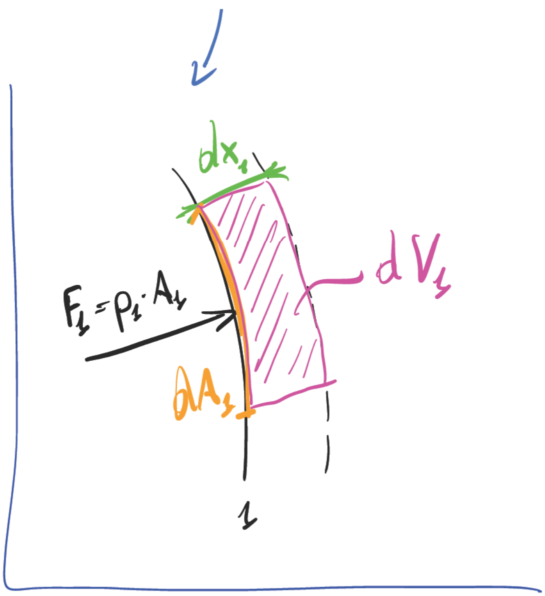
ma anche $= dm_1 \cdot v_1$

Quindi si può scrivere:

$$\left[\dot{\mathcal{L}}\,dt = \mathcal{L}_i\,dt + p_1 v_1\,dm_1 - p_2 v_2\,dm_2\right]$$

DIVIDENDO x dt trovo $\dot{\mathcal{L}}$ da dover sostituire nel 1° PRINCIPIO

$$\boxed{\dot{\mathcal{L}} = \dot{\mathcal{L}}_i + \dot m_1 p_1 v_1 - \dot m_2 p_2 v_2}$$



DA DOPO QUI E' VERSIONE DEL 30/09/2021

SOSTITUENDO IN 1° PRINCIPIO

$$\dot Q + \dot{\mathcal{L}}_i + \dot m_1 p_1 v_1 - \dot m_2 p_2 v_2 = \frac{dE_{ev}}{dt} + \underbrace{\dot m_2 E_2 - \dot m_1 E_1}$$

$$E = U + E_e + E_g + E_w$$

PORTANDO LE PORTATE A SINISTRA

$$\left[\dot m\,(U + E_{e,g,w}) + \dot m\,p v = \dot m\,(h + E_{e,g,w})\right]$$

FORMA FINALE DEL 1° PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

$$\boxed{\dot Q + \dot{\mathcal{L}}_i = \underbrace{\frac{\partial}{\partial t}\int_{V_e} E\,\rho \cdot dV_e} + \dot m_2\,(h + E_{e,g,w})_2 - \dot m_1\,(h + E_{e,g,w})_1}$$

NELLA SEZIONE 2

DERIVATA PARZIALE DELL'INTEGRALE ESTESO AL VOLUME DI CONTROLLO DELL'ENERGIA

OSS:

[Magari non è la forma + generale possibile, ma quella più generale che serve a noi]

La FORMA SEMPLIFICATA che useremo molto spesso è quella per un MOTO STAZIONARIO $\left(\underbrace{\frac{\partial(\cdot)}{\partial t} = \phi} \right)$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 = \dot{m}$$

Quindi anche $\underbrace{Q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} \; ; \; L_i = \frac{\dot{L}_i}{\dot{m}}}$

Quindi dividendo eq. precedente per $\dot{m}$ $\Downarrow$

$$\boxed{Q + L_i = \Delta h + \Delta E_{c,g,w}}$$

!

FORMULA CHE USEREMO NELLA MAGGIOR PARTE DEI CASI, ovvero con:

MOTO 1D, STAZIONARIO

OSS 1:

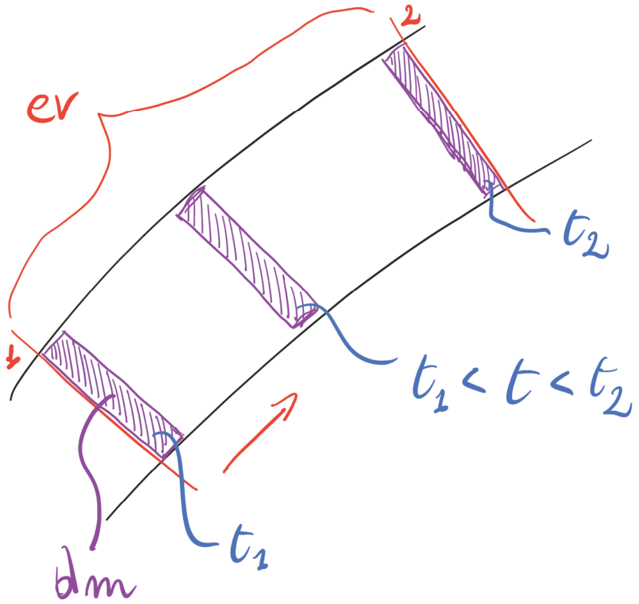
Formula simile che per i sistemi chiusi, ma lì avevamo Δ nel tempo, mentre qui è un Δ nello spazio

OSS 2:

Abbiamo anche corrispondente FORMULAZIONE DIFFERENZIALE

$$\boxed{dQ + dL_i = dh + dE_{c,g,w}}$$

PARTE DA VIDEOLEZIONE 30/09/2021, MINUTO 17:50



Possiamo pensare di prendere un SISTEMA CHIUSO costituito dalla massa infinitesima dm che in determinato tempo t si trova in una certa zona del ev

Qual è il legame fra il calore Q (definito in lez. 01 come $\frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$) e il calore Q che scambia questa dm durante il viaggio?

Si dimostra che:

CALORE SCAMBIATO NEL VOLUME DI CONTROLLO, STUDIATO CON CRITERIO EULERIANO

NOI NON LO DIMOSTRIAMO

$$\boxed{\frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = \int_1^2 (dQ)_{ev} = \int_{t_1}^{t_2} (dQ)_{es}}$$

SONO CALORI SCAMBIATI CON L'ESTERNO del VOL. DI CONTROLLO

CALORE SCAMBIATO dalla MASSA che VIAGGIA e che può essere studiato col CRITERIO LAGRANGIANO, quindi col dQ del SISTEMA CHIUSO

[Questo vale SE e SOLO SE il MOTO E' STAZIONARIO]

Lo stesso ragionamento si applica anche ad altre quantità, come L_w

che lo intendo come

$$\boxed{L_w = \int_1^2 (dL_w)_{ev} = \int_{t_1}^{t_2} (dL_w)_{es}}$$

METTO QUESTO X DIRE CHE E' UN INTEGRALE NELLO SPAZIO

ESSENDO MOTO STAZIONARIO NEL TEMPO SI AVRA' SEMPRE STESSO L_w ANCHE SPOSTANDOCI NELLO SPAZIO IN CIASCUNA SEZIONE

[Queste 2 formule ci servono, combinandole con un altra formula, per arrivare a formulare l'EQ. di EN. MECCANICA]

Abbiamo visto che x un SISTEMA CHIUSO dm vale l' EQZ. AUSILIARIA

$$dQ + dL_w = dh - v\,dp$$

PONENDO TUTTO COME INTEGRALI FRA t_1 e t_2

$$\int_{t_1}^{t_2} dQ + \int_{t_1}^{t_2} dL_w = \int_{t_1}^{t_2} dh - \int_{t_1}^{t_2} v\,dp$$

APPLICO DUNQUE CIO' CHE ABBIAMO APPENA PROVATO

$$\int_1^2 dQ + \int_1^2 dL_w = h_2 - h_1 - \int_1^2 v\,dp$$

POSSIAMO DUNQUE ABBANDONARE IL SISTEMA CHIUSO, CHE CI E' SERVITO X SCRIVERE QUESTO, E SCRIVERE SEMPLICEMENTE

(SOTTRAENDO A QUESTA EQUAZIONE

$$(+) \quad Q + L_w = h_2 - h_1 - \int_1^2 v\,dp$$

CON QUELLA TROVATA PRIMA

(−) $Q + L_i = h_2 - h_1 + \Delta E_{c,g,w}$

$$L_i - L_w = \int_1^2 v\,dp + \Delta E_{c,g,w}$$

TROVIAMO DUNQUE CIÒ CHE CERCAVAMO

EQUAZIONE DELL' ENERGIA MECCANICA

(oppure EQ. DI BERNOULLI GENERALIZZATA)

$$\boxed{L_i = \int_1^2 v\,dp + \Delta E_{c,g,w} + L_w}$$

FORMA MECCANICA DELLA CONSERVAZIONE DELL' ENERGIA PER SISTEMI APERTI, CON MOTO 1D e STAZIONARIO

OSS:

Chiamata anche così xk prendo $L_i = \emptyset$, $L_w = \emptyset$, $v = cost$, si ottiene il th di Bernoulli: $z + \frac{p}{\gamma} + \frac{c^2}{2g} = cost$