

STROZZI ANGELI

BUSTA 1

1. Il Candidato elenchi e discuta le principali tipologie di scambiatore di calore esistenti e, con l'ausilio del grafico di Figura 1, descriva una metodologia di valutazione della prestazione degli stessi.
2. Il Candidato, con l'ausilio della Figura 2, descriva i fondamenti del modello di gas ideale.
3. Il Candidato descriva le principali caratteristiche e ricavi le equazioni fondamentali del rotismo ordinario/epicicloidale di Figura 3, con riferimento al calcolo del rapporto di trasmissione.
4. Il Candidato discuta principi fondamentali ed equazioni caratteristiche del bilanciamento delle macchine alternative, con particolare riferimento alla cinematica del manovellismo ordinario, al metodo delle masse di sostituzione ed al bilanciamento del manovellismo di spinta.

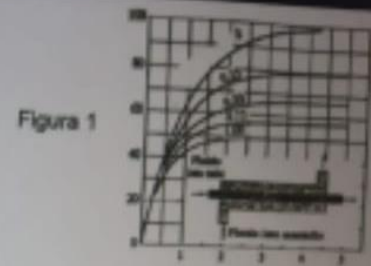


Figura 1

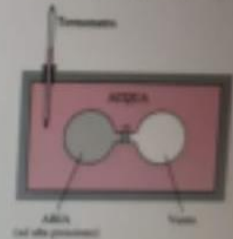


Figura 2

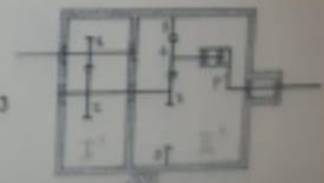


Figura 3

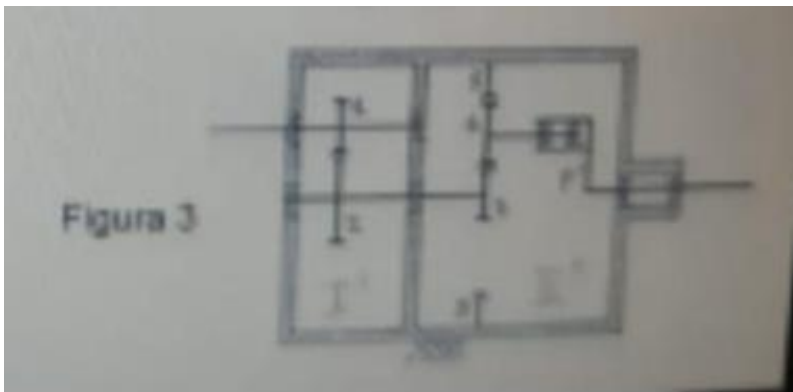


Figura 3

Esistono diverse tipologie **di scambiatori di calore** e infatti si classificano in base alla tipologia di fluidi

Aria aria

Acqua aria

In base alla direzione dei flussi

Incrocianti

paralleli

E in base a se sono in equicorrente o controcorrente.

La formula per calcolare calore scambiato dipende dall' AREA dello scambiatore, coefficiente scambio globale e dalla temperatura media logaritmica (lato destro meno sinistro / \log (rapporto destro sinistro)).

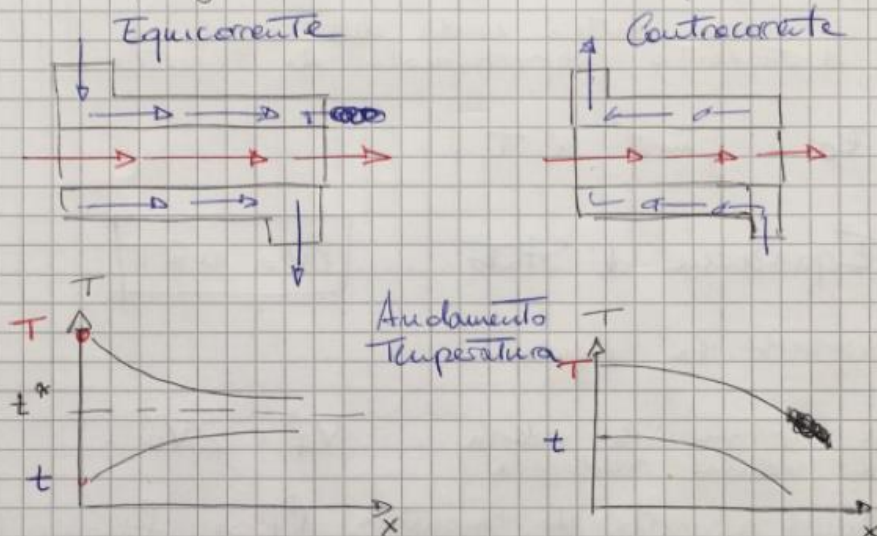
Sono presenti dei grafici in cui ricavare U (coeff. Scambio globale). Principalmente sono presenti **conduzione e convezione**. La prima è un meccanismo di scambio termico che prevede il passaggio di calore tra corpi a contatto, mentre la convezione prevede il trasporto di materia. Non è presente irraggiamento poiché prevede scambio termico che non avviene per contatto o scambio di materia.

Scambiatori di calore

Permettono lo scambio termico fra fluidi.

- Scambiatori a miscelamento: i fluidi si mescolano
- Scambiatori a superficie: i fluidi sono separati da una superficie. Generalmente sono formati da tubi concentrici

Due tipologie di scambiatori a superficie:



Avvengo 3 tipi di scambio

- Convezione: fra fluido e parete
- Conduzione: fra pareti
- Irraggiamento: trascurabile

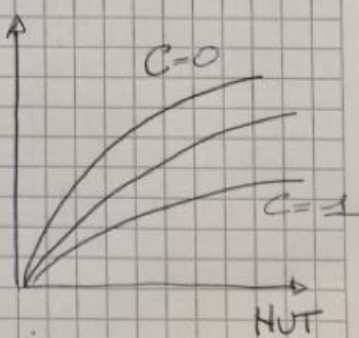
Il grafico in figura serve per valutare l'efficienza

ϵ : efficienza $C = \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{C_{min}}{C_{max}}$

$NUT = \frac{UA}{C_{min}}$: n° di unità di trasmissione del calore

u : coefficiente di scambio termico

C : rapporto fra le capacità termiche delle



IL GAS IDEALE

Proprietà di un gas ideale[\[modifica\]](#) | [modifica wikitesto](#)

Per *gas ideale* si intende un gas che possieda le seguenti proprietà:^[1]

- le molecole sono puntiformi e pertanto hanno un volume trascurabile;
- interagiscono tra loro e con le pareti del recipiente mediante urti perfettamente elastici (ovvero non vi è dispersione di energia cinetica durante gli urti);
- non esistono [forze di interazione](#) a distanza tra le molecole del gas: le molecole si dicono *non interagenti*;
- le molecole del gas sono identiche tra loro e indistinguibili;
- il moto delle molecole è casuale e disordinato in ogni direzione ma soggetto a leggi deterministiche.

In conseguenza di ciò:

- il gas non può essere liquefatto per sola compressione, ossia non subisce trasformazioni di stato;
- il [calore specifico](#) è funzione della temperatura;
- l'energia interna è data solamente dall'energia cinetica, non da quella potenziale; essa rimane costante e non viene dissipata.

In un gas ideale l'[energia cinetica](#) media delle molecole del gas è direttamente proporzionale alla [temperatura](#):

Descrizione[\[modifica\]](#) | [modifica wikitesto](#)

Il processo comincia con del gas sotto una certa pressione, , alla temperatura , confinato a una metà di recipiente termicamente isolato (vedere la parte superiore del disegno all'inizio della voce).

Il gas occupa un volume iniziale , separato meccanicamente dall'altra parte del recipiente, che ha

un volume ed è sotto una pressione praticamente nulla. Il rubinetto (linea continua) tra le due metà del recipiente viene improvvisamente aperto, e il gas si espande per riempire l'intero recipiente

che ha un volume totale di (vedere la parte inferiore del disegno). Un termometro inserito nel compartimento sulla sinistra (che nel disegno è assente) misura la [temperatura](#) del gas prima e dopo l'espansione.

In questo esperimento il [sistema](#) è costituito da entrambi i compartimenti, cioè l'intera regione occupata dal gas al termine dell'esperimento. Poiché il sistema è termicamente isolato, non può scambiare calore con l'esterno. Inoltre, siccome il volume totale del sistema è mantenuto costante, il sistema non può

fare lavoro sull'esterno.^[3] Di conseguenza, la variazione di [energia interna](#) è zero. L'energia interna è costituita dall'energia cinetica interna (dovuta al moto delle molecole) e l'energia potenziale interna (dovuta ai [legami intermolecolari](#)). Quando il moto delle molecole è casuale, la temperatura è una misura dell'energia cinetica interna. In questo caso, l'energia cinetica interna è chiamata calore. Se le camere non hanno ancora raggiunto l'equilibrio, ci sarà un po' di energia cinetica di flusso, che non è misurabile da un termometro (e quindi non è una componente del calore). Pertanto, una variazione di temperatura indica una variazione di energia cinetica, e parte di questa variazione non apparirà come lavoro fintanto che e a meno che non venga ristabilito l'equilibrio termico. Quando il calore viene trasformato in energia cinetica di flusso, avviene un abbassamento della temperatura.^[4] Nella pratica, nell'esperimento di espansione libera in due camere viene spesso integrato un 'setto poroso' attraverso

il quale l'aria che si espande dovrà passare per raggiungere la camera a pressione minore. Lo scopo del setto è quello di inibire il flusso direzionale, accelerando così il ripristino dell'equilibrio termico. Siccome l'energia cinetica totale non cambia, la stagnazione del flusso nella camera ricevente riporta l'energia cinetica di flusso a energia cinetica dovuta al moto casuale (calore) cosicché la temperatura salga al valore previsto. Se la temperatura iniziale dell'aria è talmente bassa che le proprietà dei gas non-ideali causano la condensazione, una parte di energia interna viene convertita in calore latente (con una variazione di energia potenziale che compensa) nei prodotti liquidi. Perciò, a basse temperature l'espansione di Joule fornisce informazioni sui legami intermolecolari.

Gas ideali [[modifica](#) | [modifica wikitesto](#)]

Se il gas è ideale, sia le condizioni iniziali (T_i, P_i, V_i) sia quelle finali (T_f, P_f, V_f) seguono l'[equazione di stato dei gas perfetti](#), quindi inizialmente

$$P_i V_i = nRT_i$$

e quindi, dopo che viene aperto il rubinetto

$$P_f V_f = nRT_f.$$

Qui n è il numero di moli del gas e R è la [costante dei gas](#) ideali molare. Dato che l'energia interna non cambia e l'energia interna di un gas ideale dipende solo dalla temperatura del gas, anche quest'ultima non varia, quindi $T_i = T_f$. Ciò implica che

$$P_i V_i = P_f V_f = nRT_i.$$

Quindi se il volume raddoppia, la pressione diminuisce.

Il fatto che la temperatura non cambia rende facile calcolare la variazione di entropia dell'universo per questo processo.

Sistemi epicicloidali[[modifica](#) | [modifica wikitesto](#)]

Una serie di ingranaggi epicicloidali è usata in questa illustrazione per aumentare la velocità. Il planetario porta-satelliti (verde) è messo in rotazione da un momento entrante, il pignone solare (giallo) costituisce l'uscita, mentre la corona internamente dentata (in rosso) è fissa. Si notino i segni rossi prima e dopo che l'ingresso ha subito una rotazione di 45° in senso orario.

Quando almeno uno degli assi delle ruote non è fisso, a differenza del caso dei rotismi ordinari, si ha un **rotismo epicicloidale**.

I treni di **ingranaggi epicicloidali** o a **planetario e satelliti** costituiscono un sistema di uno o più ingranaggi chiamati **satelliti**, montati su un organo porta-satelliti chiamato **portatreno** (o anche **planetario**), che ruotano intorno a un pignone centrale anche detto **solare**; il tutto è posto all'interno di una ruota dentata internamente detta **corona**. L'asse di rotazione del portatreno e del solare coincidono. Uno di questi elementi è mantenuto fisso, un altro costituisce l'ingresso e il terzo l'uscita. Il rapporto di trasmissione è determinato dal numero dei denti ma anche da quale elemento è fisso, e questo è sfruttato in alcuni tipi di cambi di velocità. Il nome deriva dal fatto che il movimento degli ingranaggi satelliti è simile a quello che si supponeva avessero i pianeti del [sistema solare](#) nel [sistema tolemaico](#), in cui si ipotizzava l'esistenza di moti detti [epicicli](#).

Situazione in cui il planetario è fermo (per il particolare esempio considerato).

Il rendimento del sistema epicicloidale con il portatreno bloccato varia molto a seconda del rapporto di trasmissione^[8]

L'esempio più semplice di rotismo epicicloidale è mostrato in Fig. 10.6 dove le ruote 1 e 2 di un ingranaggio (schematizzate attraverso le loro primitive) sono collegate rotoidalmente ad un corpo 3 a sua volta collegato rotoidalmente al telaio della macchina. Tenendo ferma la ruota 1 e facendo ruotare il corpo 3 rispetto al telaio, la ruota 2 ruota su sé stessa e attorno alla ruota 1.

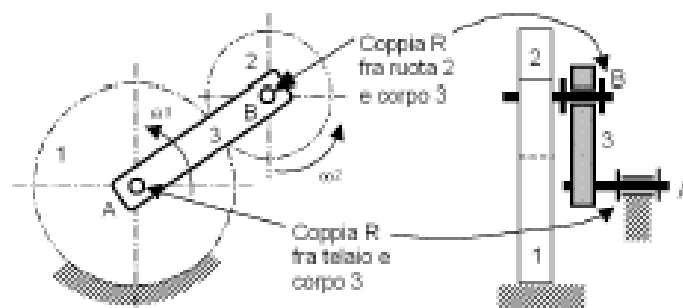


Fig. 10.6 Rotismo epicicloidale con due ruote e un portatreno

Questo semplice rotismo trova applicazione nei mescolatori, collegando il rotore del motore al corpo 3 (e lo statore al telaio) e le pale mescolatrici alla ruota 2. E' però molto più frequente il caso in cui si vogliono avere assi di rotazione fissi sia per il motore che per il carico. Occorre allora aggiungere al rotismo precedente almeno un'altra ruota con asse fisso, ottenendo le soluzioni visibili in Fig. 10.7. Le ruote dei rotismi epicicloidali che hanno l'asse fisso vengono dette *solari* (se a dentatura esterna) o *corone* (se a dentatura interna), mentre le ruote ad asse mobile sono dette *satelliti*. Il corpo al quale sono vincolati rotoidalmente i satelliti è detto *portasatelliti* o *portatreno*. Con linea sottile sono state rappresentate in figura le ruote non cinematicamente significative, ma necessarie (eventualmente con fasatura diversa da quella disegnata in figura) per il bilanciamento del rotismo e delle sue forze interne: in questo caso si ha *disposizione a planetario* un cui disegno è riportato anche in Fig. 10.8-a.

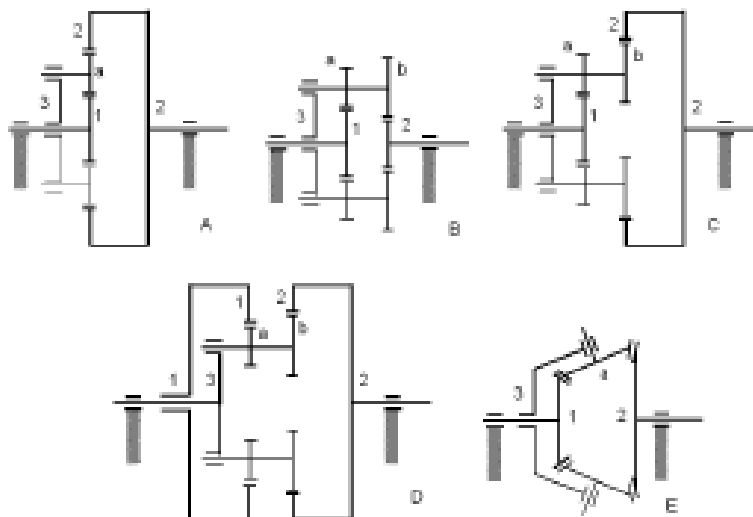


Fig. 10.7 Rotismi epicicloidali semplici (con due ingranaggi)

Tutte i rotismi della Fig. 10.7 possono essere usati, analogamente a quello con un ingranaggio, bloccando una delle ruote, ma possono anche essere usati lasciandole tutte libere di girare. Nella prima eventualità il meccanismo ha un grado di libertà (una rotazione in uscita in funzione di una in ingresso), nella seconda ne ha due e il rotismo è detto *combinatorio* (una rotazione in uscita in funzione di due in ingresso) o *differenziale* (due rotazioni in uscita, legate tra loro, in funzione di una in ingresso).

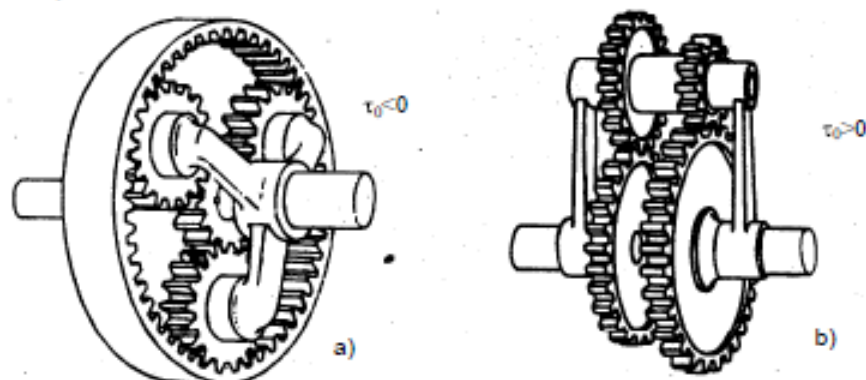


Fig. 10.8 Rotismi epicicloidali con τ_0 negativo e positivo

Caratteristica cinematica del rotismo è il *rapporto di trasmissione a portatreno fermo* τ_0 (detto anche *rapporto di trasmissione base*) che viene calcolato per il rotismo ordinario ottenuto bloccando il portatreno del rotismo epicicloidale e lasciando libere tutte le altre ruote; il rotismo a portatreno bloccato viene detto *rotismo base*. La tabella riporta le espressioni di τ_0 per i 5 casi di Fig. 10.7. In tabella τ_0 è il rapporto fra la velocità angolare della ruota 2 e la velocità angolare della ruota 1: il segno del rapporto è rilevante (positivo se versi concordi, negativo se discordi) e giustifica (in parte) la scelta della configurazione del rotismo. In tabella z_i indica il numero di denti della ruota i .

TIPO (Fig. 10.7)	A	B	C	D	E
$\tau_0 = \omega_2 / \omega_1$	$-z_1/z_2$	$z_1 z_b / z_a z_2$	$-z_1 z_b / z_a z_2$	$z_1 z_b / z_a z_2$	$-z_1/z_2$

Indicando con $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ le velocità effettive delle ruote 1 e 2 e del portatreno 3, e con ω_{1r}, ω_{2r} le velocità relative delle ruote 1 e 2 rispetto al portatreno, vale la *formula di Willis*

$$\tau_0 = \frac{\omega_{2r}}{\omega_{1r}} = \frac{\omega_2 - \omega_3}{\omega_1 - \omega_3} \quad (10.2)$$

che collega fra di loro le 3 velocità angolari effettive. Il rotismo ha dunque 2 gradi di libertà: due delle tre velocità angolari possono essere assegnate a piacere e la terza risulta determinata in funzione delle prime due e di τ_0 .

Per ottenere un riduttore (o un moltiplicatore) di velocità si blocca la rotazione rispetto al telaio di una delle ruote 1 o 2, riducendo il rotismo ad un grado di libertà. Indicando con 1 la ruota bloccata, per cui $\omega_1=0$, la formula di Willis (10.2) si riduce a

$$\tau_0 = \frac{\omega_2 - \omega_3}{-\omega_3}$$

ovvero

$$(1 - \tau_0)\omega_3 = \omega_2$$

Si hanno i due casi:

a) ruota 2 motrice, portatreno condotto

$$\tau = \frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{1}{(1 - \tau_0)} \quad \text{ovvero} \quad \tau_0 = 1 - \frac{1}{\tau}$$

b) portatreno motore, ruota 2 condotta

$$\tau = \frac{\omega_2}{\omega_3} = (1 - \tau_0) \quad \text{ovvero} \quad \tau_0 = 1 - \tau$$

Volendo avere una forte riduzione di velocità ($|\tau| \ll 1$) è possibile usare la soluzione con portatreno motore e $\tau_0 \cong 1$. E' però dimostrabile che in tal caso il rendimento del rotismo diventa molto piccolo e tende a zero quando $|\tau|$ tende a zero.

MANOVELLISMO

Masse rotanti (perno di biella quotaparte biella)

Masse alterna (pistone, fasce, spinotto, quotaparte biella)

Ne calcolo le forze inerziali

Le riduco all'albero

Traduco il sistema di forze inerziali in un sistema di forze rotanti e controrotanti che affaticano staticamente l'albero

Avro forze del primo e secondo ordine

Faccio equilibrio a taglio mom flettente e momento torcente

Verifica di sicurezza se < 1 sono apposto

BUSTA 2

1. Il Candidato, con l'ausilio del diagramma di Figura 1, elenchi e discuta le principali transizioni di fase che hanno luogo per una sostanza pura.
2. Il Candidato descriva, a sua scelta, una delle principali modalità di trasmissione del calore (conduzione, convezione e irraggiamento).
3. Il Candidato descriva, a partire dalla rappresentazione schematica dell'oscillatore soggetto a forzante sinusoidale riportata in Figura 2, le vibrazioni forzate di questo sistema ad un grado di libertà, con particolare riferimento alle forze trasmesse al basamento.
4. Il Candidato descriva componenti e meccanismo di funzionamento di un cuscinetto a elementi volventi, trattando analisi cinematica, distribuzione dei carichi e presenza di attrito volvente.



Figura 1

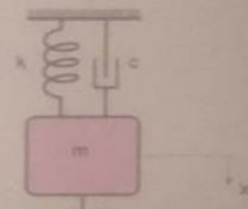


Figura 2

PUNTO TRIPLO

In un *diagramma di stato* di una sostanza pura sono riportate in ascissa la temperatura e in ordinata la pressione^{[4][5]} (o viceversa). Per la sostanza in questione sono rappresentate le linee che indicano il cambiamento di stato; nei campi individuati all'interno di queste linee si individuano i campi di esistenza del solido, del liquido e del vapore.

La linea di separazione liquido-vapore non si estende tendenzialmente all'infinito, ma termina in un punto preciso, nel quale le caratteristiche del vapore e del liquido diventano le medesime e tali fasi si uniscono in una fase sola: si tratta del punto critico, individuato per ogni sostanza da valori di pressione e di temperatura ben precisi.

La linea di separazione solido-liquido ha in quasi tutte le sostanze un'inclinazione positiva, ciò indica un aumento del volume specifico all'aumentare della temperatura. Eccezioni sono sostanze come il gallo, l'antimonio, il bismuto ma soprattutto l'acqua per cui in solidificazione si ha un aumento del volume specifico.^[6]

La congiunzione delle tre linee avviene nel punto triplo, al quale coesistono le tre fasi solida, liquida e gassosa.

I diagrammi di fase possono essere utilizzati anche per descrivere i possibili stati allotropici degli elementi chimici.

CONDUCIBILITÀ

Conduzione nei solidi [modifica | modifica wikitesto]

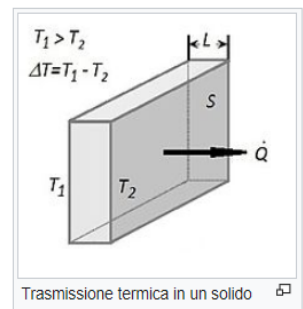
Consideriamo un solido a forma di parallelepipedo con le due superfici maggiori S distanti L . Se si riscalda una delle due superfici S si viene a formare una differenza di temperatura, diciamo ΔT , tra di esse. Supponendo le superfici minori ben isolate, il calore si diffonde dentro il corpo solamente verso la superficie opposta a temperatura minore per il secondo principio della termodinamica. Sperimentalmente si vede che il calore trasferito per unità di tempo \dot{Q} è direttamente proporzionale alla superficie e alla differenza di temperatura ed inversamente proporzionale allo spessore.^[1]

$$\dot{Q} = \lambda S \frac{\Delta T}{L}$$

dove la costante di proporzionalità λ è la conducibilità termica.

Se consideriamo uno spessore infinitesimo, invece di L poniamo dx , invece di ΔT poniamo $-dT$ ed otteniamo l'equazione di Fourier nel caso monodimensionale:

$$\dot{Q} = -\lambda S \frac{dT}{dx}$$



Cuscinetti volventi [\[modifica \]](#) [\[modifica wikitesto \]](#)

Nei cuscinetti volventi, o a *rotolamento*, il movimento è facilitato dall'interposizione tra parte fissa e perno di elementi volventi (sfere o rulli). I cuscinetti volventi possono essere a loro volta:

- **A ingranaggi**, configurazione particolare dove il mantenimento della posizione tra gli elementi volventi è caratterizzata dall'ingranamento tra essi e gli anelli.
- **A sfere**
 - *Radiali*, dove la forza di carico da supportare è perpendicolare all'asse di rotazione
 - *una corona di sfere*, nei tipi più comuni, generalmente da sette a dieci sfere, sono adatti alla maggior parte delle applicazioni e possono sopportare sia carichi radiali che assiali.
 - *due corone di sfere*, come i precedenti ma costituiti da due anelli con gole affiancate che alloggiavano le relative corone di sfere. Sono adatti a sopportare elevati carichi radiali.
 - *orientabili a due corone di sfere*, adatti ovunque vi sia la possibilità di un'inclinazione dell'asse di rotazione. In questo tipo l'anello interno ha due gole affiancate mentre l'anello esterno ha un'unica gola semisferica, sistema che consente il funzionamento quando gli assi dei due anelli sono inclinati tra di loro. Non sono idonei a sopportare forti spinte assiali.
 - *obliqui ad una o due corone di sfere*, caratterizzati dalla posizione obliqua della retta di carico passante per i punti di contatto tra le sfere e gli anelli rispetto all'asse di rotazione, in modo del tutto analogo ai cuscinetti a rulli conici. Rispetto ai cuscinetti radiali hanno il vantaggio di contenere un maggior numero di sfere e di poter sopportare carichi radiali e spinte assiali più elevati. Quelli ad una corona di sfere vanno sempre utilizzati in coppia.
- **A rulli**, come per quelli a sfere possono essere ad una o due corone di rulli ed essere rigidi od orientabili. I rulli sono impiegati nei casi in cui occorra la massima precisione di lavoro e possono avere forma:
 - *cilindrica*
 - *ad aghi o rullini*, variante dei cuscinetti a rulli cilindrici, composti da due anelli sfilabili e rulli più piccoli di diametro. Utilizzati quando lo spazio è limitato e idonei a reggere solo carichi radiali.
 - *conica*, impiegata quando sull'albero su cui è montato grava una forte spinta assiale. In questa variante i



Schema di funzionamento di un cuscinetto ad ingranaggi



Cuscinetto a rulli conici: anello

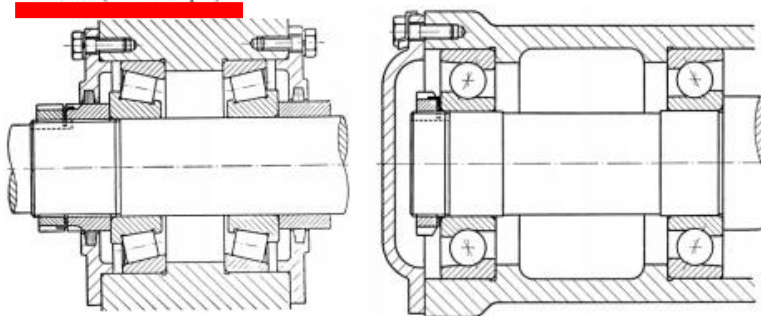
Montaggio dei cuscinetti obliqui

I cuscinetti obliqui possono essere montati in due modi:

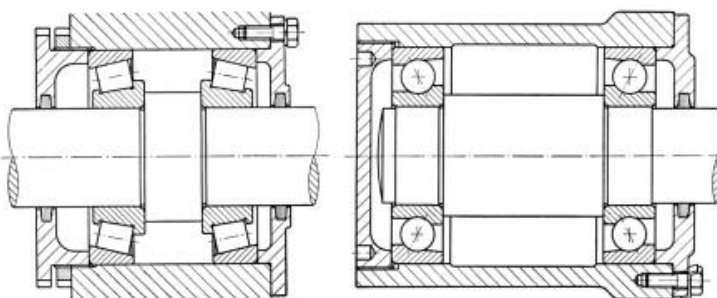
1. Montaggio ad O
2. Montaggio ad X

Montaggio a O

In questo caso la registrazione si effettua generalmente sull'anello interno che perciò deve essere calettato a spinta (h6). Questo tipo di montaggio è generalmente usato per basse frequenze di rotazione ($n < 1000$ rpm)



Montaggio a X



In questo caso la registrazione si effettua generalmente sull'anello esterno e, poiché è possibile montare l'interno con un accoppiamento bloccato, questa disposizione è particolarmente indicata per frequenze di rotazione elevate ($n > 1000$ rpm)

I due tipi di montaggio si differenziano anche per la diversa rigidità che conferiscono al supporto. Il montaggio ad O, allontanando i centri di spinta, conferisce a tutto il supporto una maggiore rigidità. E' da notare inoltre che nel montaggio ad O le dilatazioni assiali dell'albero, conseguenti al riscaldamento, tendono a diminuire il precarico, al contrario, nel montaggio a X le dilatazioni assiali dell'albero aumentano il precarico.

RISPOSTA VALIDA PER TUTTI I SISTEMI MASSA MOLLA SMORZATORE

Sistemi vibranti ad 1 gdl

- vibrazioni forzate -

- rev. 1.2 -

Le vibrazioni forzate di un sistema ad 1 gdl sono descritte dall'equazione:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin(\omega t) \quad (1)$$

dove, con riferimento alla figura 1, m , k e c sono i ben noti parametri caratteristici del sistema e $F_0 \sin(\omega t)$ è una forzante armonica.

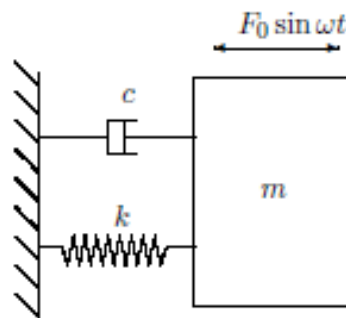


Figura 1: Sistema vibrante ad 1 gdl con forzante armonica generica

L'integrale (o soluzione) dell'equazione differenziale sarà dato dalla somma dell'integrale generale dell'omogenea associata e di un integrale particolare dell'equazione completa:

$$x = x_g + x_p \quad (2)$$

a cui andranno anche applicate le condizioni iniziali $x(0) = x_0$ e $\dot{x}(0) = \dot{x}_0$.

Il contributo dell'integrale x_g tende ad annullarsi in un tempo più o meno lungo a seconda del coefficiente di smorzamento del sistema; a regime permarrà quindi solo l'integrale particolare.

Per quanto riguarda x_g , valgono naturalmente le espressioni ricavate, a seconda del valore di ζ , nell'esercitazione precedente. Ricordiamo che le due costanti d'integrazione, da cui x_g dipende, si ricavano applicando le c.i. all'intera soluzione (2).

L'integrale particolare dell'equazione completa, trattandosi di equazione differenziale lineare a coefficienti costanti, è di tipo armonico con pulsazione uguale a quella della forzante e in ritardo rispetto a quest'ultima (d'ora innanzi faremo coincidere x con la sola x_g); utilizzando la notazione vettoriale¹ scriveremo:

$$F = F_0 e^{i\omega t} \quad ; \quad x = \mathbf{X} e^{i\omega t} \quad \text{con} \quad \mathbf{X} = e^{-i\delta}$$

Derivando la x si ottiene:

$$\dot{x} = i\omega \mathbf{X} e^{i\omega t} \quad \ddot{x} = -\omega^2 \mathbf{X} e^{i\omega t}$$

e sostituendo nell'equazione completa:

$$-m\omega^2 \mathbf{X} e^{i\omega t} + ci\omega \mathbf{X} e^{i\omega t} + k\mathbf{X} e^{i\omega t} = F_0 e^{i\omega t} \quad (3)$$

Si ottiene infine:

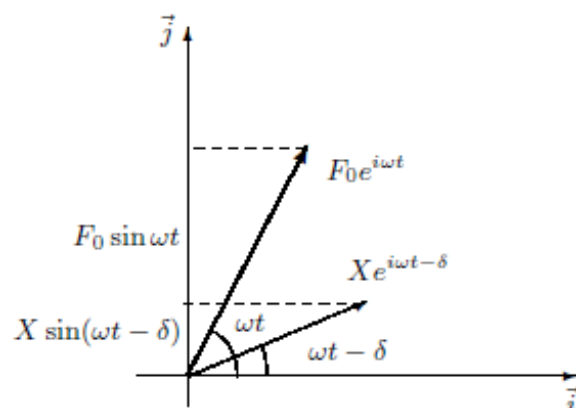
$$\mathbf{X} = \frac{F_0}{-m\omega^2 + ic\omega + k}$$

relazione valida ad ogni istante t (il termine $e^{i\omega t}$ si è semplificato). che, espressa in funzione della pulsazione naturale ω_n e del rapporto ζ tra il coefficiente di smorzamento e lo smorzamento critico, diventa:

$$\mathbf{X} = \frac{\frac{F_0}{k}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + i 2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}} \quad (4)$$

¹ Per la notazione vettoriale si veda il capitolo 10.

¹Per affrontare lo studio della soluzione a regime, risulta comodo introdurre la corrispondenza tra la funzione armonica $F_0 \sin(\omega t)$ e il vettore, nel piano di Gauss, $\mathbf{F} = F_0 e^{i\omega t}$ (vedi figura sottostante).



La corrispondenza è tale per cui $F_0 \sin(\omega t)$ rappresenta la proiezione del vettore $F_0 e^{i\omega t}$ sull'asse immaginario.

L'integrale particolare dell'equazione completa sarà anch'esso di tipo armonico con pulsazione pari a quella della forzante ma in ritardo rispetto a quest'ultima:

$$x = X \sin(\omega t - \delta)$$

Utilizzando anche per la soluzione la corrispondenza vista in precedenza, si può scrivere:

$$x = X \sin(\omega t - \delta) \hat{=} X e^{i(\omega t - \delta)} = \mathbf{X} e^{i\omega t}$$

dove $\mathbf{X} = e^{-i\delta}$.

da cui è possibile ricavare l'andamento del modulo e della fase al variare della pulsazione ω della forzante a ζ fissato.

Quando la pulsazione della forzante è pari alla pulsazione naturale si ottiene:

$$\mathbf{X} = -i \frac{F_0}{2\zeta k}$$

cioè la risposta del sistema risulta sfasata di $\delta = \pi/2$ in ritardo rispetto alla forzante.

La figura 2 mostra l'andamento dell'ampiezza e della fase in funzione della pulsazione della forzante e dello smorzamento adimensionale.

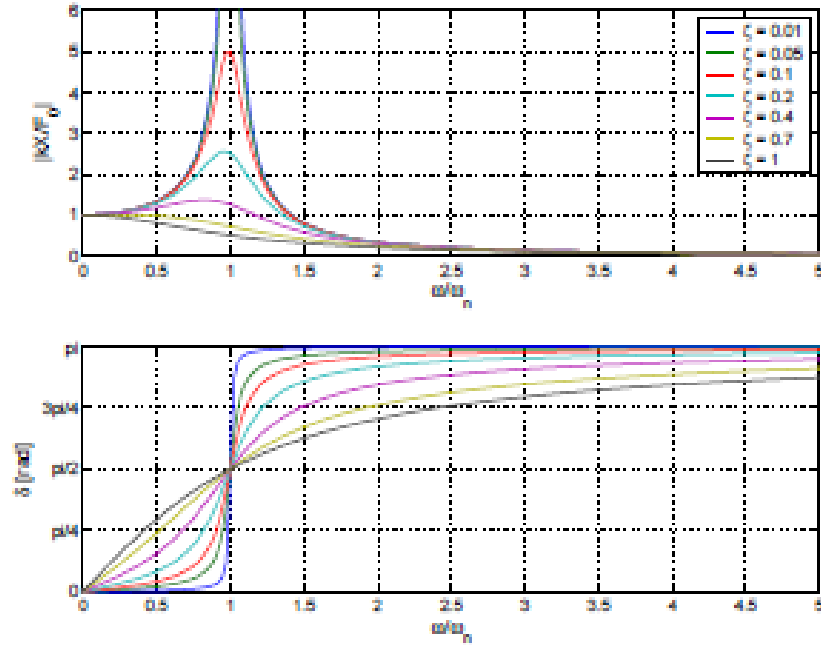


Figura 2: Ampiezza e fase con forzante generica

La forza trasmessa al vincolo è data da due contributi, uno dello smorzatore, l'altro della molla:

$$F_T = c i \omega \mathbf{X} e^{i \omega t} + k \mathbf{X} e^{i \omega t} \quad (5)$$

Sostituendo la relazione (4) in (5), si ottiene l'espressione della *trasmissibilità*:

$$\frac{F_T}{F_0} = T_R = \frac{1 + i 2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + i 2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}} \quad (6)$$

BUSTA 4

1. Il Candidato, con l'ausilio del diagramma psicrometrico di Figura 1, illustri a sua scelta una trasformazione di una miscela di aria e vapore acqueo.
2. Il Candidato illustri il concetto di macchina termica ed i principi della termodinamica che ne governano il funzionamento.
3. Il Candidato descriva, a partire dalla rappresentazione schematica dell'oscillatore armonico non smorzato riportata in Figura 2, le principali caratteristiche delle vibrazioni libere di sistemi ad un grado di libertà.
4. Il Candidato descriva generalità e nomenclatura delle ruote dentate cilindriche a denti dritti, con particolare riferimento a forze scambiate tra le ruote, strisciamenti, velocità relative, forze di attrito.

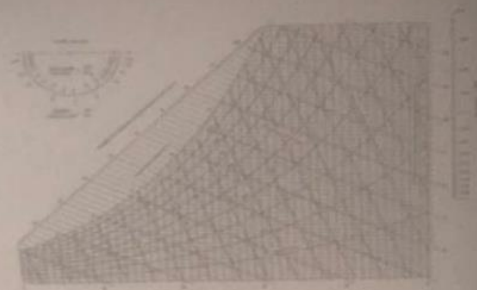


Figura 1

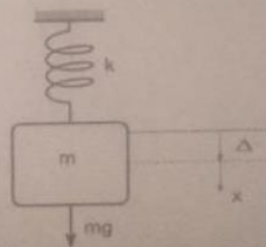


Figura 2

L'aria umida e l'uso del diagramma psicrometrico

La climatizzazione dell'aria prevede una serie di trattamenti che hanno come fine quello di ottenere nell'ambiente climatizzato condizioni ottimali di temperatura ed umidità.

Tali trattamenti fanno riferimento ad aria che, nelle applicazioni tipiche del condizionamento, può essere considerata come una miscela binaria di gas perfetti: aria secca e vapor d'acqua.

Sulla base di studi e ricerche eseguite, si è individuata la "zona del benessere" relativamente alle condizioni dell'aria nell'ambiente occupato.

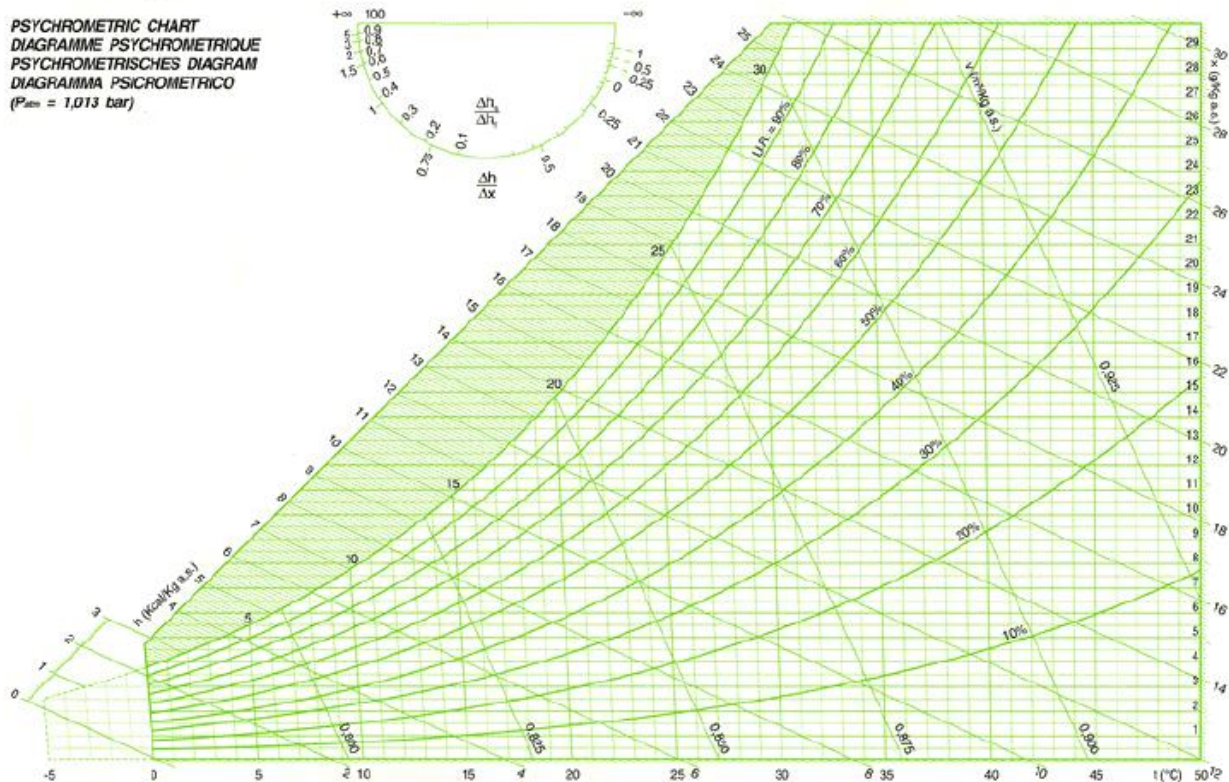
In particolare, si è visto che il sistema di termoregolazione dell'organismo umano trova il suo equilibrio ideale quando in ambiente le condizioni termoigrometriche assumono valori entro intervalli ben definiti:

Condizioni Ambiente	Estate	Inverno
T_a	$24 \div 26 \text{ }^\circ\text{C}$	$18 \div 22 \text{ }^\circ\text{C}$
ϕ	$40 \div 60 \%$	$40 \div 60 \%$

Naturalmente, il benessere ottimale si ottiene anche tenendo nella giusta considerazione la velocità e la purezza dell'aria.

Le trasformazioni dell'aria umida vengono studiate e rappresentate sul diagramma psicrometrico:

PSYCHROMETRIC CHART
 DIAGRAMME PSYCHROMETRIQUE
 PSYCHROMETRISCHES DIAGRAM
 DIAGRAMMA PSICROMETRICO
 ($P_{atm} = 1,013 \text{ bar}$)



- **Temperatura a bulbo secco;**
- **Umidità specifica;**
- **Umidità relativa;**
- **Temperatura a bulbo umido;**
- **Temperatura di rugiada.**
- **Entalpia;**
- **Volume specifico;**

Enuncio i principi della termodinamica

0 – Proprietà transitiva

1 – in un sistema chiuso la variazione di energia interna e' pari alla differenza tra **calore e lavoro**

2 – enunciato CLAUSIUS : L'**enunciato di Clausius** del secondo principio della termodinamica afferma che sia **impossibile realizzare una trasformazione termodinamica il cui unico risultato sia quello di far passare del calore da una sorgente a temperatura inferiore a una a temperatura superiore.**

2 – enunciato KELVIN_PLANK : L'**enunciato di Kelvin-Planck** (o enunciato della macchina termica) del secondo principio della termodinamica afferma che sia **impossibile costruire una macchina termica che, operando in un ciclo, trasformi il calore assorbito da una singola sorgente e produca una uguale quantità di lavoro.**^[1]

In termodinamica il **Ciclo di Carnot** è un ciclo termodinamico diretto, più semplice tra due sorgenti termiche. Il ciclo è costituito solo **da trasformazioni reversibili: 2 isoterme e 2 adiabatiche**.^[1] Il suo nome deriva da quello del fisico francese Nicolas Léonard Sadi Carnot.^[1]

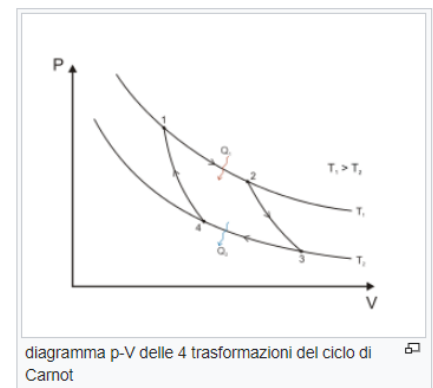
Il ciclo di Carnot ha la proprietà di essere il ciclo termodinamico che evolve tra le due sorgenti con il rendimento termodinamico maggiore.^[1] **Non esiste nessun altro ciclo con temperature estreme pari a quelle delle isoterme del ciclo di Carnot**, tale da avere un rendimento superiore a quello di Carnot.^[1] Per questi motivi viene usato come ciclo di riferimento per applicazioni reali come pompe di calore e cicli frigoriferi.

Le quattro trasformazioni [modifica | modifica wikitesto]

Il ciclo di Carnot di un gas perfetto è composto da 4 trasformazioni reversibili (1-2) e (3-4) a temperature rispettivamente $T_1 > T_2$ (2-3) e (4-1).^[1]

- *Espansione lungo trasformazione isoterma* (1-2): il gas preleva la quantità di calore Q_1 dalla sorgente più calda T_1 e questo provoca l'aumento di volume del gas e la diminuzione della pressione. La tendenza della temperatura del gas ad abbassarsi viene contrastata, limitatamente alla prima parte della corsa, dall'effetto del riscaldatore (sorgente termica). Ne risulta che essa rimane costante.
- *Espansione lungo Trasformazione adiabatica* (2-3): quando il gas finisce di prelevare energia termica, esso viene mantenuto in modo che non scambi energia con l'esterno tramite un'adiabatica, pur continuando ad espandersi: ne consegue un abbassamento della temperatura.
- *Compressione lungo trasformazione isoterma* (3-4): il gas viene compresso mantenendo costante la temperatura e il calore generato dal lavoro compiuto in questa fase viene rimosso dal contatto con la sorgente a temperatura più bassa $T_2 < T_1$. Viene ceduta dal gas alla sorgente la quantità di calore Q_2 .
- *Compressione lungo Trasformazione adiabatica* (4-1): quando il gas finisce di cedere calore al refrigeratore, esso continua a venire compresso ma viene mantenuto in modo che non scambi energia con l'esterno.

Il risultato di questo ciclo è dimostrare che, avendo a disposizione una macchina di Carnot ideale, un gas perfetto e due sorgenti a differenti temperature, è possibile ottenere lavoro riportando il sistema nelle condizioni iniziali.



BUSTA 5

1. Il Candidato descriva il ciclo termodinamico ideale di Rankine/Hirn rappresentato in Figura 1, ne discuta l'implementazione in un impianto reale, descrivendo le strategie per massimizzarne l'efficienza.
2. Il Candidato descriva, a sua scelta, con l'ausilio di uno dei disegni di Figura 2, un dispositivo di misura della portata a strozzamento di vena.
3. Il Candidato descriva le principali caratteristiche e ricavi le equazioni fondamentali del rotismo ordinario rappresentato in Figura 3, con riferimento al calcolo del rapporto di trasmissione.
4. Il Candidato esponga i concetti fondamentali e le equazioni caratteristiche della dinamica dei rotori, con particolare riferimento a squilibrio statico e dinamico, ed alle macchine equilibratrici supercritiche e subcritiche.

Figura 1

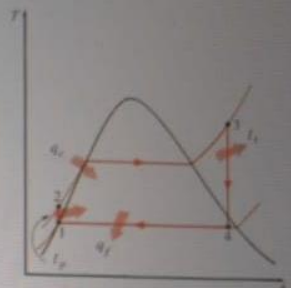
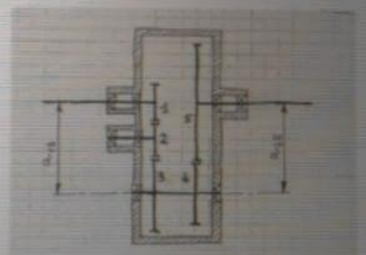


Figura 2



Figura 3



Il **ciclo di Rankine a vapore surriscaldato** (detto anche **ciclo di Hirn**) è un ciclo termodinamico del tipo Ciclo diretto a vapore acqueo che, **rispetto al ciclo di Rankine semplice**, **presenta uno schema d'impianto analogo**, tranne che per una modifica nella **generatore di vapore**, alla quale è aggiunto uno **stadio di surriscaldamento**, il quale che si nota nel diagramma a fianco un **"dente"** del rispetto al ciclo di Rankine.

Il **liquido saturo**, dopo essere stato passato da una **Pompa idraulica** a **pressione** elevata, va alla **generatore di vapore**, in condizioni di liquido non saturo, per essere riscaldato **trasformazione isobarica** in tre fasi:

1. **riscaldamento del liquido;**
2. **vaporizzazione completa;**
3. **surriscaldamento del vapore.**

Le prime due fasi sono comuni anche al ciclo di Rankine semplice, **mentre la terza fase è caratteristica del ciclo di Rankine a vapore surriscaldato**. Tutte e tre le fasi avvengono lungo la stessa **trasformazione isobarica**, cioè alla stessa pressione.

Operando a pressione costante, permette di ottenere valori di **titolo di vapore** più elevati a fine espansione: **un titolo inferiore a 0,88 infatti causerebbe danni alle palettature di bassa pressione** della turbina, per presenza di gocce liquide che causano l'effetto di erosione.

Questo surriscaldamento ha altri **aspetti vantaggiosi sul ciclo: permette, infatti, di raggiungere un maggior rendimento termico e di diminuire il consumo specifico di vapore** (a parità di portata di fluido motore, si ottiene una maggior **potenza meccanica** netta).

Questi benefici aumentano all'aumentare della temperatura del vapore surriscaldato.

Quest'ultima tuttavia è soggetta, sia a vincoli di tipo economico a causa delle rese che ha una crescita non lineare, sia a vincoli dei materiali impiegati (che la limitano intorno ai 620 °C). Sebbene sia possibile produrre impianti che sopportino temperature anche superiori, l'aumento di rendimento non giustifica i costi di investimento necessari.

Anche questo ciclo non permette di sfruttare appieno le possibilità di produrre potenza meccanica. Infatti, all'aumentare della pressione del generatore di vapore e fissate le temperature di inizio e fine surriscaldamento, si ha, sì, un aumento di rendimento, ma anche un pericoloso calo del titolo di vapore: già a pressioni relativamente basse, 8 **MPa**, il titolo a fine espansione risulta minore di 0,88.

Per evitare questo inconveniente e per sfruttare meglio la possibilità di produrre potenza meccanica, si ricorre al ciclo di Rankine a vapore risurriscaldato ma possono essercene anche tre o quattro intervallate dal ritorno in turbina.

VENTURIMETRO

Venturimetro

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

Il **venturimetro** o **tubo di Venturi** è uno strumento che serve a misurare la **portata** di una condotta. Questo strumento sfrutta l'**effetto Venturi** e prende il nome proprio dal **fisico Giovanni Battista Venturi**. Calcola la **velocità** media del fluido partendo dalla relazione esistente tra questa **grandezza** e la **pressione** (illustrata dall'effetto Venturi). Dalla velocità è poi facile calcolare la **portata** volumetrica, essendo legate dalla relazione:

$$Q = v \cdot A$$

dove:

- Q è la **portata** volumetrica.
- v è la velocità
- A rappresenta l'area della sezione di condotta considerata..

Indice [nascondi]

- 1 **Composizione e utilizzo del venturimetro**
- 2 **Perdita energetica**
 - 2.1 Dimostrazione
- 3 Note
- 4 Bibliografia
- 5 **Voci correlate**
- 6 **Collegamenti esterni**



Composizione e utilizzo del venturimetro [modifica | modifica wikitesto]

Il venturimetro si compone di due rami: il primo convergente (effusore) e l'altro divergente (diffusore)^[1]. Questo strumento, attraverso una diminuzione della sezione della condotta, provoca l'accelerazione del fluido. Infatti, a causa della proporzionalità inversa che lega la velocità alla sezione della condotta, a portata costante una diminuzione della sezione provoca un aumento della velocità.

È importante, nella progettazione e costruzione di un venturimetro, fare molta attenzione ad evitare il fenomeno della **cavitazione**. La diminuzione di pressione all'interno della sezione contratta, infatti, non deve mai portare la pressione interna del liquido al di sotto della **tensione di vapore** del liquido stesso, perché la cavitazione può provocare notevoli danni alla condotta.

Per evitare questi problemi, i venturimetri sono costruiti per funzionare all'interno di una ben definita gamma di portate: se la portata è troppo piccola non si hanno valori accettabili in termini di approssimazione, se la portata è troppo grande si genera il fenomeno della cavitazione con le relative conseguenze negative.

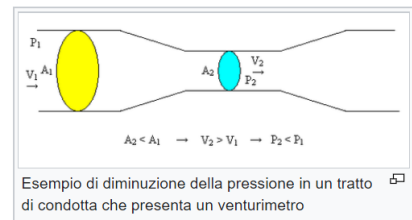
Il venturimetro si compone anche di un **manometro differenziale**, che misura la differenza di pressione prima del tratto convergente e subito dopo, cioè nella sezione contratta della condotta.

Supponendo che il fluido sia incompressibile, il tratto di condotta orizzontale, il flusso stazionario, l'integrazione dell'**equazione di Bernoulli** sulla medesima **linea di flusso** risulta:

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + p_2$$

dove: v_1 e v_2 sono le velocità nella sezione 1 (prima del tratto convergente) e 2 (nella sezione contratta), p_1 e p_2 le pressioni nelle due sezioni, g rappresenta l'**accelerazione di gravità** e ρ la **densità** del liquido.

Da questa formula, naturalmente, si ha:



Da questa formula, naturalmente, si ha:

$$\frac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2) + p_1 - p_2 = 0$$

Da qui, conoscendo la relazione che lega la portata alla velocità, possiamo scrivere:

$$\frac{Q^2}{A_1^2} - \frac{Q^2}{A_2^2} + 2\frac{p_1 - p_2}{\rho} = 0$$

Dove A_1 e A_2 sono le aree delle due sezioni considerate. È importante notare che alla portata Q non sono stati inseriti i pedici relativi alle due sezioni perché le due portate sono uguali per l'[equazione di continuità](#). Se le due portate fossero diverse, infatti, significherebbe che una parte della massa sia stata immessa o espulsa (vedi [teorema della divergenza](#)) nel tratto compreso tra le due sezioni.

Da qui, tramite semplici passaggi matematici, definendo un parametro costante K , si arriva alla determinazione della portata Q :

$$K = \frac{\sqrt{2}A_1 A_2}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}}$$

$$Q = K \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{\rho}}$$

Che per esteso, si può scrivere:

$$Q = \frac{\sqrt{2}A_1 A_2}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{\rho}}$$

BUSTA 6

1. Il Candidato descriva il ciclo termodinamico ideale (ciclo inverso a compressione di vapore) rappresentato in Figura 1, ne discuta l'implementazione in un impianto reale e ne descriva i possibili funzionamenti e gli indicatori di prestazione.
2. Il Candidato descriva, a sua scelta, un dispositivo di misura della pressione.
3. Il Candidato descriva, a partire dalla rappresentazione schematica dell'oscillatore soggetto a forzante sinusoidale riportata in Figura 2, le principali caratteristiche delle vibrazioni forzate di sistemi ad un grado di libertà.
4. Il Candidato descriva generalità e nomenclatura delle ruote dentate cilindriche a denti dritti, con particolare riferimento alla condizione di non-interferenza.

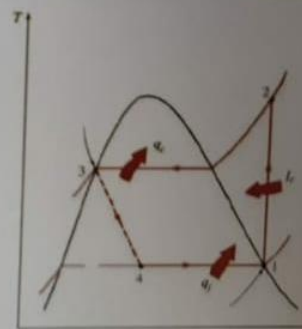


Figura 1

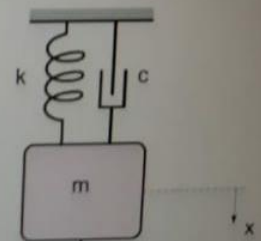


Figura 2

Un **ciclo frigorifero** è un [ciclo termodinamico ciclo inverso](#) operato da una [macchina operatrice](#) in grado di **trasferire calore da un ambiente a bassa temperatura a uno a temperatura superiore**.

La macchina termica compie un ciclo frigorifero può essere utilizzata come:

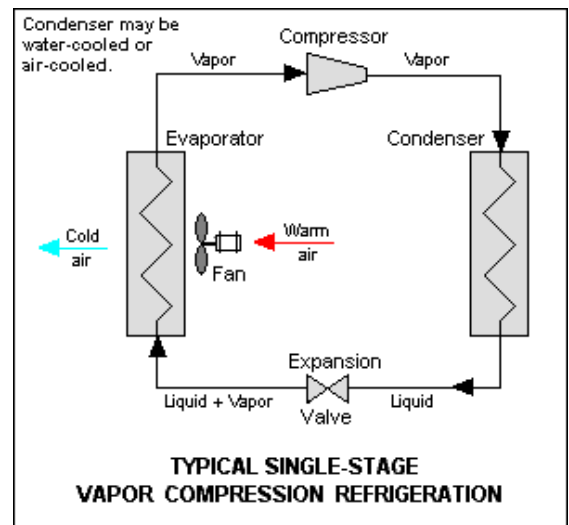
- **macchina frigorifera, con lo scopo di sottrarre calore da un ambiente freddo, cioè raffreddare la zona ad temperatura inferiore** (questo effetto è utilizzato nel frigorifero e nei raffreddamento estivo).
- **pompa di calore, con lo scopo di fornire calore a un ambiente caldo, cioè riscaldare la zona ad temperatura superiore** (questo effetto è utilizzato nel riscaldamento invernale).

In ambedue gli utilizzi, occorre erogare un lavoro per far funzionare il ciclo, **erogare calore al punto caldo del ciclo** (effetto utile della macchina funzionante come pompa di calore, tale calore è la somma del calore rimosso dal punto più freddo più il lavoro erogato) **e assorbire calore dal punto più freddo** (effetto utile della macchina funzionante come frigorifero).

Vi sono diverse tipologie di ciclo refrigerativo:

- ciclo a compressione di vapore
- ciclo ad assorbimento (adosorbimento e assorbimento)
- ciclo inverso di Stirling

in questo ciclo si applica un lavoro di compressione per far passare un fluido da vapore saturo a vapore surriscaldato; il vapore surriscaldato passa all'interno del condensatore dove cede il calore prima sensibile, poi latente, passando alla fase liquida; **successivamente il liquido è fatto espandere nella valvola di laminazione**, che, comportandosi da flash provoca una parziale evaporazione del liquido e un raffreddamento della valvola stessa. **Il liquido più la piccola parte di vapore passano all'interno dell'evaporatore, dove il liquido evapora completamente, assorbendo calore dall'esterno** (e quindi "generando freddo").



Nel ciclo frigorifero a compressione è essenziale un **fluido refrigerante** per condensare ed evaporare ciclicamente: è importante la scelta del tipo di fluido per conciliare la temperatura della sorgente fredda con quella della sorgente calda. Tra i primi fluidi di ciclo vi è stata l'**ammoniaca**, che ha il vantaggio di avere un **calore latente** particolarmente alto, ma è corrosiva e tossica; dal **1931** per molti anni sono stati utilizzati alcuni **alogenuri alchilici**, detti commercialmente Freon (marchio registrato dalle Industrie DuPont), recentemente (**1990**) proibiti dal protocollo di Montréal. Oggi si cerca di usare fluidi meno inquinanti tipo **HFC**, e **HFE**.

MANOMETRO

Manometro

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

Il **manometro** è uno **strumento di misura** della **pressione relativa** dei **fluidi**. La corretta accezione del lemma si riferisce a strumenti dedicati alla misura di pressioni maggiori dell'atmosferica; per valori inferiori all'atmosferica il termine corretto è **vacuometro** o vuotometro (misuratore del **vuoto**).

Inizialmente la parola manometro si riferiva solo a strumenti idrostatici con **liquido** a colonna, oggi chiamati *manometri ad U*, poi fu esteso per abbracciare anche strumenti a quadrante o digitali.

Indice [*nascondi*]

1 Classificazione

- 1.1 Manometri ad U
- 1.2 Manometri Bourdon

1.3 Manometri a diaframma



Manometro a quadrante. Scala in **kgf/cm²**.

Manometri ad U [modifica | modifica wikitesto]

Lo stesso argomento in dettaglio: **Tubo manometrico**.

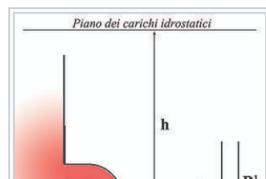
Sono costituiti da un tubo (di solito trasparente) curvato ad U e riempito di un liquido di densità nota. Un'estremità del tubo è lasciata aperta all'atmosfera, mentre l'altra è in collegamento diretto con l'ambiente di misura. Il liquido contenuto nel tubo si sposterà verso l'alto in uno dei due rami della U di un valore tale che la differenza di peso tra le due colonne di liquido bilanci esattamente la pressione (o depressione) presente nell'ambiente di misura. Per i serbatoi ad acqua spesso si usa il mercurio con $\gamma_m = 133000 \text{ N/m}^3$. Si veda la figura 1 per uno schema. Se si esprimono i valori in unità coerenti, si avrà:^{[3][4][5]}

$$|\rho \cdot g \cdot H| = |P_0 - P_a|$$

dove:

- ρ è la densità del fluido usato per la misura
- g è l'accelerazione di gravità.
- H è l'affondamento

Per la sua estrema semplicità tale manometro non è soggetto a quasi. La sua risoluzione non è però molto elevata a causa dell'inevitabile fenomeno del menisco.

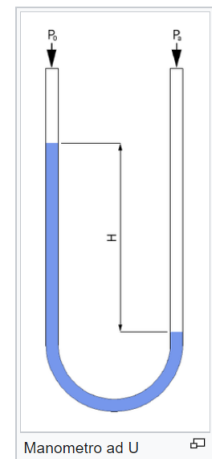


Sul piano orizzontale che passa per il menisco A la pressione sarà uguale nei due rami:

$$P_0 = P_a = \gamma_m \cdot H$$

Quando il recipiente collegato è pieno di un liquido, avremo:

$$h = \frac{P_0}{\gamma} = \frac{H \gamma_m}{\gamma}$$



BUSTA 7

1. Il Candidato, con l'ausilio dei disegni riportati in Figura 1, descriva il principio di funzionamento di una torre evaporativa (o torre di raffreddamento).
2. Il Candidato descriva, a sua scelta, un dispositivo di misura della temperatura.
3. Il Candidato descriva, a partire dalla rappresentazione schematica dell'oscillatore armonico smorzato riportata in Figura 2, le principali caratteristiche delle vibrazioni libere di sistemi ad un grado di libertà.
4. Il Candidato descriva generalità e nomenclatura delle ruote dentate cilindriche a denti dritti, con particolare riferimento alla continuità del moto e al calcolo del rapporto di condotta.

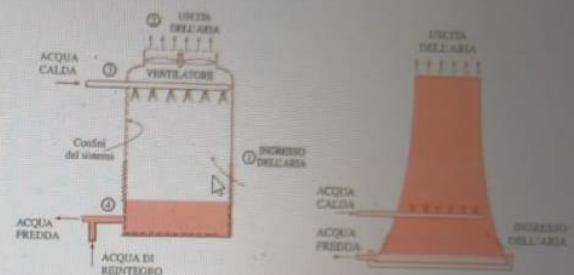


Figura 1

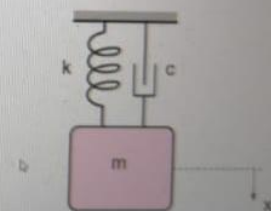


Figura 2

Tipologie costruttive

Dal punto di vista costruttivo, le *torri evaporative* possono essere di due tipi:

- **a circolazione forzata**
- **a flusso indotto**

Torre evaporativa a circolazione forzata

È di gran lunga il tipo più usato, specie nel raffreddamento dell'acqua. In sostanza è costituita da:

- Una struttura di contenimento (A), in cemento, metallo o plastiche varie, dotata alla base di aperture (B) per la circolazione dell'aria atmosferica, indotta dal ventilatore (C);
- Un sistema di distribuzione dell'acqua, costituito da ugelli di distribuzione (D) e da un riempimento solitamente plastico (E);

- Una vasca (F) di raccolta dell'acqua raffreddata.

circolazione forzata; in questa tipologia costruttiva la circolazione dell'aria è garantita dall'energia spesa nel ventilatore (C). Si preferisce posizionare il ventilatore all'uscita della torre anziché all'entrata (B), perché altrimenti potrebbero crearsi degli anelli di ricircolazione all'esterno della torre, dovuti al fatto che parte dell'aria uscente dall'alto potrebbe essere aspirata dai ventilatori posti in basso, e questo ridurrebbe l'efficienza dell'apparecchiatura. D'altra parte il ventilatore posto all'uscita (esastore) è soggetto a rapida corrosione ed a guasti dovuti all'umidità dell'aria convogliata, inconvenienti ovviamente assenti nel ventilatore all'ingresso (di spinta).

A FLUSSO INDOTTO

Le torri più grandi sfruttano l'evaporazione stessa dell'acqua e la differenza di densità della miscela aria - vapore acqueo e possono **evitare l'uso del ventilatore** di circolazione, che è costoso, consuma energia e riduce il raffreddamento in quanto l'energia spesa per la ventilazione passa in parte all'acqua - seppure in quantità assai ridotta.

Queste torri senza ventilatore sono dette a flusso indotto (o a circolazione naturale o a tiraggio naturale) ed hanno una caratteristica sagoma a sezione verticale costituita da un iperboloide a una falda, per ragioni statiche e costruttive. Si noti il pennacchio uscente dalla parte alta della torre (camino) a sinistra, costituito da aria satura di vapore d'acqua.

Le torri a circolazione naturale sono preferite nelle centrali nucleari e geotermiche, dove è giustificato il costo elevato dell'apparecchiatura, entrando in gioco portate di aria elevate.

FUNZIONAMENTO

L'acqua dispersa nella parte superiore della torre quindi cadente verso il basso, viene a contatto con l'aria indotta a salire dal ventilatore o dalla differenza di densità. Il contatto è tanto più intimo quanto più è estesa la superficie delle gocce d'acqua che entrano in contatto con l'aria (ovvero la superficie di scambio di materia). Si ha quindi un trasferimento di massa dalle gocce d'acqua (*fase dispersa*) verso l'aria (*fase continua*), dovuto all'umidificazione dell'aria stessa, che non è satura in vapore. Questo trasferimento di massa è di tipo evaporativo, **quindi l'acqua cede energia all'aria in modo sostanzialmente isotermico per l'aria, ma con cessione, e quindi con raffreddamento, da**

parte dell'acqua. Questa esce quindi ad una temperatura inferiore a quella di ingresso (). **Si noti che la condizione essenziale per il funzionamento è la non saturazione dell'aria** (in vapore acqueo); ne consegue che la torre non potrà funzionare (o quasi) in caso di aria satura (ad esempio in un giorno di pioggia).

Termocoppia

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

La **termocoppia** è un [trasduttore](#) di [temperatura](#) il cui funzionamento è basato sull'[effetto Seebeck](#).^[1]

Le termocoppie sono ampiamente utilizzate perché economiche, facilmente sostituibili, [standardizzate](#) e possono misurare un ampio intervallo di temperature. Il loro limite più grande è l'[accuratezza](#), infatti [errori sistematici](#) minori di un [grado Celsius](#) sono difficili da ottenere. Inoltre le termocoppie sono dei dispositivi non lineari, nonostante il loro vasto utilizzo. Un gruppo di termocoppie poste in serie viene detto [termopila](#).

In estrema sintesi la termocoppia è costituita da due conduttori di materiale ben noto che si uniscono in un punto detto "giunto caldo" in prossimità del quale va effettuata la misura di temperatura. Gli altri due estremi sono collegati ad una morsettiera detta "giunto freddo", la quale è connessa allo strumento di misura o in modo diretto o mediante prolunga. È importante conoscere la temperatura del giunto freddo ai fini della misura (compensazione): infatti se in prossimità del giunto caldo si rilevasse una temperatura di 11 °C, mentre il giunto freddo si trova alla temperatura di 20 °C, allora la temperatura effettiva alla quale si trova il giunto caldo è di 31 °C. Questa compensazione non avrebbe senso se il giunto fosse di 0 °C.

Quando esiste una **differenza di temperatura** tra la zona del **giunto caldo** e la zona del **giunto freddo**, si può rilevare una **differenza di potenziale elettrico** tra le estremità libere della **termocoppia in corrispondenza del giunto freddo**.

Tale valore di potenziale elettrico è funzione diretta della differenza di temperatura, secondo una legge non lineare (vedi sotto).

Nella pratica, ad esempio negli impianti industriali, **la giunzione calda è inserita all'interno di una guaina di protezione che penetra all'interno dell'apparecchiatura della quale si vuole misurare la temperatura**. Subito all'esterno, i due conduttori sono connessi ad una morsettiera di porcellana contenuta dentro una testina di protezione. Da questo punto, altri due conduttori elettrici di metallo, aventi caratteristiche simili a quelle della termocoppia (cavi di estensione), prolungano il collegamento elettrico fino ad una sala controllo centralizzata, e vengono collegati alla morsettiera di uno strumento indicatore o registratore di temperatura.

In tal modo il giunto freddo si trova fisicamente sottoposto alla temperatura presente sulla morsettiera dello strumento di misura.

Questa temperatura viene misurata tramite un [termistore](#) o una [termoresistenza](#) e utilizzata, all'interno dello strumento, per compensare elettricamente il segnale proveniente dalla termocoppia.

In questo modo, qualsiasi sia la temperatura presente in tale zona, è come se il giunto freddo si trovasse alla temperatura di 0 °C. Quest'azione si chiama *compensazione della temperatura ambiente* ed assicura la massima precisione di misura.

Lo strumento misuratore avrà sulla sua scala o sul suo display l'indicazione direttamente in gradi Celsius (e non in mV), in quanto al suo interno esistono sistemi che tengono conto anche della non linearità del segnale in ingresso.

RUOTE DENTATE CILINDRICHE A DENTI DIRITTI

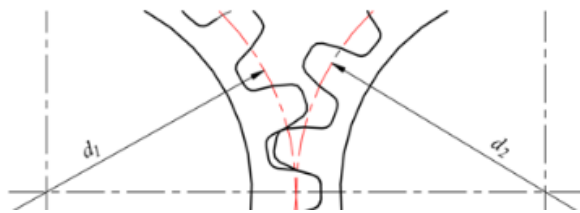
Sono dotate di denti disposti parallelamente all'asse della ruota e sono usate per trasmettere potenze fra alberi paralleli. Il meccanismo è costituito da due ruote dentate ingrananti fra loro ed è denominato ingranaggio.

La ruota motrice trasmette il moto facendo pressione sui denti della ruota condotta che gira in senso contrario alla prima.

Si chiama rocchetto o pignone la ruota col minor numero dei denti quella col maggior numero di denti si chiama ruota.

Una ruota dentata è formata dalla corona dentata e dal mozzo unite da un disco pieno o forato o da razze nel caso di ruote di grosso diametro. I denti devono essere opportunamente sagomati e profilati in modo da avere il massimo rendimento di trasmissione, quello più usato è quello il profilo ad evolvente.

Si chiama diametro primitivo di una ruota dentata il diametro associato alla circonferenza che passa dove la larghezza dei denti è uguale alla larghezza dei vani.



Le circonferenze primitive di una coppia di ruote dentate, sono quindi tangenti fra loro e formano una linea di contatto durante l'ingranamento.

D'ora in poi indichiamo:

d_1 =diametro primitivo della ruota motrice

d_2 =diametro primitivo della ruota condotta

z_1 =numero di denti della ruota motrice

z_2 =numero di denti della ruota condotta

n_1 =numero di giri al minuto della ruota motrice

n_2 =numero di giri al minuto della ruota condotta

L'interasse fra le due ruote risulta essere:

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Il rapporto di trasmissione:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

Si riconoscono, inoltre, i seguenti elementi:

Il cerchio di testa che limita esternamente la sommità dei denti e determina il diametro di testa (diametro esterno d_e).

Il cerchio primitivo è la circonferenza lungo la quale avviene il contatto della coppia di ruote dentate ed è associato al diametro primitivo d .

Il cerchio di testa che limita esternamente la sommità dei denti e determina il diametro di testa (diametro esterno d_e).

Il cerchio primitivo :è la circonferenza lungo la quale avviene il contatto della coppia di ruote dentate ed è associato al diametro primitivo d .

Il cerchio di piede :limita inferiormente la base dei denti e determina il diametro del piede (diametro interno d_i).

Il passo della dentatura (p): è la lunghezza dell'arco di circonferenza compreso fra due profili dentati omologhi consecutivi.

L'altezza del dente (h) è la distanza radiale fra il cerchio di testa e quello di piede.

La costa del dente (C) è la parte compresa tra il cerchio primitivo e quello di testa, misurata sull'asse del dente ed è anche denominata addendum.

Il fianco del dente (F) è la parte di dente compresa fra il cerchio del piede e il cerchio primitivo denominata anche dedendum.

Le ruote dentate sono dimensionate tramite il sistema modulare in cui si valuta il modulo (m)

$$m = \frac{d}{z}$$

Il passo della dentatura può essere ottenuto dalla formula

$$p = \pi \cdot m$$

Due ruote ingrananti fra loro devono avere lo stesso passo, quindi hanno lo stesso modulo. inoltre si ha:

$$C = m \quad \text{costa (addendum)}$$

$$F = 1,25 \cdot m \quad \text{fianco (dedendum)}$$

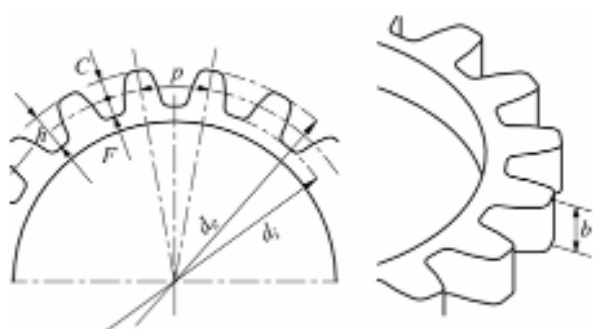
$$h = F + C \quad \text{altezza del dente}$$

$$d_e = d + 2C = d + 2m \quad \text{diametro esterno (diametro di testa)}$$

$$d_i = d - 2F = d - 2,5 \cdot m \quad \text{diametro interno (diametro di piede)}$$

$$b = \lambda \cdot m \quad \text{larghezza del dente}$$

nella pratica il coefficiente $\lambda \cong 10$



Il diametro di testa è uguale al diametro primitivo più due addendum, cioè due moduli:

$$d_e = d + 2 \cdot m \quad \text{essendo} \quad d = m \cdot z \quad \text{avremo:}$$

$$d_e = m \cdot z + 2 \cdot m = m(z + 2) \quad \longrightarrow \quad m = \frac{d_e}{z + 2}$$

Questa formula è molto utile, perchè quando si rompe una ruota (si rompe un dente) non si trova quasi mai la documentazione di quel pezzo; ma con questa formula, misurando il diametro esterno e contando i denti, si riesce ad ottenere il modulo. Poi si applica il seguente algoritmo:

BUSTA 2

1. Il Candidato, con l'ausilio del diagramma di Figura 1, descriva il concetto di perdita di carico e ne illustri le metodologie di valutazione.
2. Il Candidato, con l'ausilio di uno dei tre diagrammi di Figura 2, descriva un ciclo ideale a combustione interna.
3. Il Candidato discuta l'approccio di dimensionamento a criticità e in condizione di

Figura 1

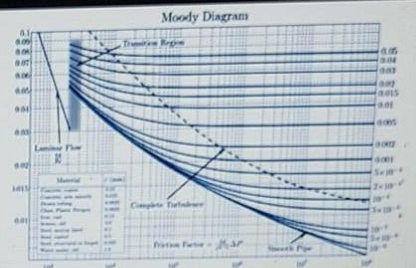


Figura 2

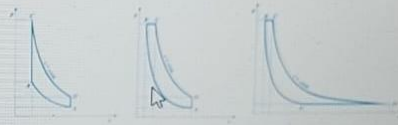


DIAGRAMMA DI MOODY

In fluidodinamica, il **diagramma di Moody** (noto anche come "abaco di Moody") è un **diagramma bilogarithmico** che riporta il **fattore di attrito di Darcy** (da non confondersi col numero di Fanning o fattore di attrito di Fanning, numericamente uguale a un quarto del fattore di attrito di Darcy) in funzione del **numero di Reynolds** al variare della rugosità secondo la **correlazione di Colebrook**. Esistono molte altre correlazioni per il fattore di attrito, per cui il diagramma di Moody non ha validità universale, ma costituisce l'alternativa più comune. Oggi la sua importanza è prevalentemente didattica dato che la soluzione numerica della correlazione di Colebrook è facilmente implementabile su calcolatore, ma in sua assenza è l'unica strada percorribile poiché non esiste una soluzione analitica generale della correlazione.

Regime laminare [\[modifica \]](#) [modifica wikitesto \]](#)

Nella parte più a sinistra il diagramma è composto da un'unica retta, che rappresenta il fattore di attrito di Darcy in moto laminare, descritto da bassi valori del numero di Reynolds. Questa parte del diagramma è di scarso interesse esistendo una soluzione analitica della correlazione (equazione di Poiseuille):

$$f = \frac{64}{Re}, \quad (Re < 2300)$$

Regime turbolento [\[modifica \]](#) [modifica wikitesto \]](#)

Nella parte più a destra del diagramma di Moody è presente un fascio di curve: esse rappresentano i diversi valori di scabrezza relativa che la condotta considerata può avere. A seconda di tale valore, noto il numero di Reynolds relativo al moto, è possibile conoscere il valore di f .

Nel caso di tubo liscio (ovvero avente scabrezza nulla) l'equazione che rappresenta la curva è la seguente:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

QUINDI LA PERDITA DI CARICO DISTRIBUITA SI CALCOLA IN FUNZIONE DEL FATTORE DI ATTRITO CHE CALCOLO TRAMITE MOODY. MOLTIPLICANDO PER LA LUNGHEZZA, LA VELOCITÀ AL QUADRATO E DIVIDENDO PER DUE VOLTE IL DIAMETRO OTTENDO LA PERDITA.

$$\frac{\Delta p}{\rho} = \frac{64}{Re} \frac{L}{D} \frac{W^2}{2} = \xi \frac{L}{D} \frac{W^2}{2}$$

Ciclo Otto

Il ciclo ideale [\[modifica | modifica wikitesto \]](#)

Nel piano (p-V), che mette in relazione p (pressione) e V (volume), il ciclo Otto ideale si può rappresentare con:

1. una aspirazione a pressione ambiente dal P.M.S. (*Punto morto superiore*) al P.M.I. (*Punto morto inferiore*) (0-1);
2. una compressione adiabatica da P.M.I. a P.M.S. (1-2);
3. una combustione che si innesca con la scintilla della candela (2-3);
4. una espansione adiabatica da P.M.S. a P.M.I. (3-4);
5. uno scarico libero iniziale a volume costante (4-1);
6. uno scarico forzato a pressione costante che riporta il ciclo alla posizione di partenza (1-0).

Termodinamica del ciclo [\[modifica | modifica wikitesto \]](#)

Facendo riferimento alla figura del ciclo, supponiamo di lavorare con un gas perfetto. Allora il lavoro fatto è solo quello:

$$L = Q_{ass} - Q_{ced} = c_v \times n(T_3 - T_2) - c_v \times n(T_4 - T_1)$$

dove c_v è il calore molare a volume costante. Quindi il rendimento del ciclo:

$$\eta = \frac{L}{Q_{ass}} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Ma dalle due [trasformazioni adiabatiche](#) reversibili, si ha:

$$T_3 V_b^{\gamma-1} = T_4 V_a^{\gamma-1}$$

$$T_2 V_b^{\gamma-1} = T_1 V_a^{\gamma-1}$$

dove $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$. Dividendo membro a membro:

$$\frac{T_2}{T_3} = \frac{T_1}{T_4}$$

così che il rendimento può essere espresso in termini di sole temperature o volumi:

$$\eta = 1 - \frac{T_4}{T_3} \left(\frac{1 - \frac{T_1}{T_4}}{1 - \frac{T_2}{T_3}} \right) = 1 - \frac{T_4}{T_3} = 1 - \left(\frac{V_b}{V_a} \right)^{\gamma-1}$$

Indicando con r il rapporto di V_a/V_b , detto [rapporto volumetrico di compressione](#), si ha infine:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

In un motore a benzina reale, r non può essere inferiore a circa 1/10 (sui motori in genere i valori sono 14:1, se il [rendimento volumetrico](#) è inferiore a uno, che riduce la compressione effettiva del gas, dal momento che se r è più piccolo, l'aumento di temperatura dovuto alla compressione della miscela di benzina e aria è tale da provocare la combustione prima dello scoccare della scintilla ([preaccensione](#)). Tutti gli effetti di disturbo presenti in un motore a benzina reale, come le accelerazioni, gli attriti, i moti turbolenti, abbassano il rendimento molto al di sotto di quello di un ciclo Otto a gas ideale, portandolo a circa 0,2 (20%).

Ciclo Otto indicato (o reale)



Ciclo termico di un motore 4T

1=PMS

2=PMI

A: Aspirazione

B: Compressione

C: Espansione

D: Scarico

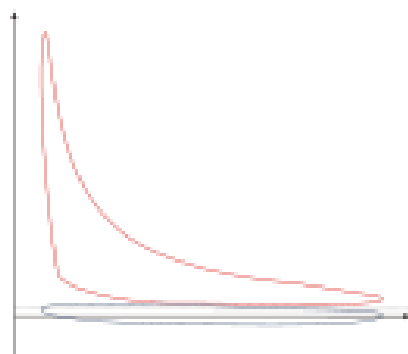
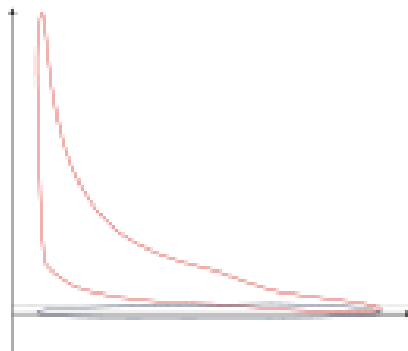


Diagramma indicato di un ciclo Otto reale di un motore a due tempi a flussi tangenziali (sinistra) e di un motore a quattro tempi (destra)

Il sistema è definito come la massa d'aria che viene aspirata dall'atmosfera nel cilindro, compressa dal pistone, riscaldata dall'accensione a scintilla del carburante aggiunto, lasciata espandere mentre preme sul pistone e infine scaricata di nuovo nell'atmosfera. La massa d'aria viene seguita come il suo volume, pressione e variazione di temperatura durante le varie fasi termodinamiche. Poiché il pistone è in grado di muoversi lungo il cilindro, il volume dell'aria cambia con la sua posizione nel cilindro.

I processi di compressione e di espansione indotti sul gas dal movimento del pistone sono idealizzati come reversibili, cioè, nessun lavoro utile viene perso attraverso turbolenza o attrito e non viene trasferito calore a o dal gas durante questi due processi. L'energia viene aggiunta all'aria dalla combustione del carburante. Il lavoro utile è estratto dall'espansione del gas nel cilindro. Dopo che l'espansione è completata nel cilindro, il calore rimanente viene estratto e infine il gas viene scaricato nell'ambiente. Il lavoro meccanico utile è prodotto durante il processo di espansione e parte di quello usato per comprimere la massa d'aria del ciclo successivo. L'utile lavoro meccanico prodotto meno usato per il processo di compressione è il lavoro netto guadagnato e che può essere usato per la propulsione o per guidare altre macchine. In alternativa, il lavoro utile ottenuto è la differenza tra il calore aggiunto e il calore rimosso.

Il ciclo Otto reale è sempre caratterizzato da sei fasi, che però comportano delle cause di perdita di lavoro e quindi di rendimento:

1. Perdita di pressione in aspirazione e scarico (nel grafico pressioni-volumi caratterizzato da un'area definita come "lavoro di pompaggio" che viene ceduto). Una massa d'aria (fluido di lavoro) viene aspirata nel cilindro, da 0 a 1, a pressione atmosferica (pressione costante) attraverso la valvola di aspirazione aperta, mentre la valvola di scarico viene chiusa durante questo processo. La valvola di aspirazione si chiude al punto 1.
2. Non adiabaticità della compressione e dell'espansione. Il pistone si muove dall'estremità del crank (BDC, punto morto inferiore e volume massimo) all'estremità della testata (TDC, punto morto superiore e volume minimo) mentre il gas di lavoro con stato iniziale 1 viene compresso isoentropicamente al punto 2, tramite rapporto di compressione (V_1 / V_2). Meccanicamente si tratta della compressione isoentropica della miscela aria / carburante nel cilindro, nota anche come corsa di compressione. Questo processo isoentropico presuppone che nessuna energia meccanica venga persa a causa dell'attrito e che non venga trasferito calore al o dal gas, quindi il processo è reversibile. Il processo di compressione richiede che venga aggiunto del lavoro meccanico al gas di lavoro. Generalmente il rapporto di compressione è intorno a 9-10: 1 ($V_1: V_2$) per un motore tipico.^[1]
3. Intempestività e incompletezza della combustione. Il pistone è momentaneamente a riposo al PMS. Durante questo istante, che è noto come fase di accensione, la miscela aria / carburante rimane in un piccolo volume nella parte superiore della corsa di compressione. Il calore viene aggiunto al fluido di lavoro dalla combustione del carburante iniettato, con il volume sostanzialmente mantenuto costante. La pressione aumenta e il rapporto P_3/P_2 è chiamato "rapporto di esplosione".
4. Intempestività dello scarico. L'alta pressione aumentata esercita una forza sul pistone e lo spinge verso il BDC. L'espansione del fluido di lavoro avviene isoentropicamente e il lavoro viene eseguito dal sistema sul pistone. Il rapporto di volume V_4/V_3 è chiamato "rapporto di espansione isoentropico" (per il ciclo Otto è uguale al rapporto di compressione V_1/V_2). Meccanicamente si tratta dell'espansione della miscela gassosa calda nel cilindro nota come corsa di espansione (potenza).

Le sei fasi che caratterizzano il ciclo Otto indicato sono:

1. la fase di aspirazione (non isobara);
2. una compressione adiabatica;
3. la combustione, che avviene anticipatamente, in modo incompleto e non isocoro;
4. una fase di espansione adiabatica;
5. una prima fase di scarico anticipato e non tempestivo;
6. un'ultima fase di scarico lento.

ROTISMO SUBCRITICO

DINAMICA DEI ROTORI

S. definire rotore un sistema composto da un albero sul quale vi sono collegati degli elementi detti dischi. (es. turbine, compressori).

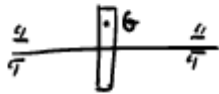
→ S. schematizzare come alberi elastici privi di massa, con dischi rigidi a massa concentrata.

→ l'equazione cardine è il II princ. della dinamica:

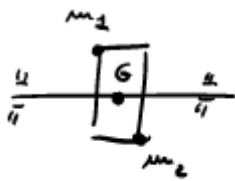
$$\bar{M}_{ext} = \frac{d\bar{L}}{dt} \rightarrow \text{momento q.d.m.}$$

$$\bar{M}_{ext} = [\underline{\underline{J_G}}] \dot{\omega} \quad \leftarrow \text{così semplici.}$$

Squilibrio statico: quando l'asse di rotazione non coincide con un asse baricentrico. Albero con massa eccentrica.



Squilibrio dinamico: quando l'asse di rotazione non è principale di inerzia.



l'asse di rotazione è baricentrico ma non principale di inerzia. Freggo. Nascono coppie di inerzia che fanno oscillare l'asse di rotazione.

7.3 Macchina equilibratrice

In generale possiamo perciò pensare il rotore sollecitato a causa degli squilibri statico e dinamico. Avremo una forza d'inerzia dovuta al moto circolare del baricentro ed un momento dovuto agli effetti della perdita di simmetria (eq. 7.6). In Figura 7.4 sono qualitativamente indicati questi due effetti mediante due vettori. Prendiamo in considerazione ora due piani I e II ortogonali all'asse di rotazione e posti a distanza a e b dal baricentro; indichiamo con l la loro distanza.

Il baricentro cadrà in un generico punto interno al rotore.

I piani I e II saranno indicati come piani di correzione (Fig. 7.5).

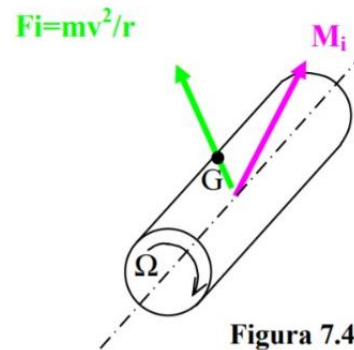
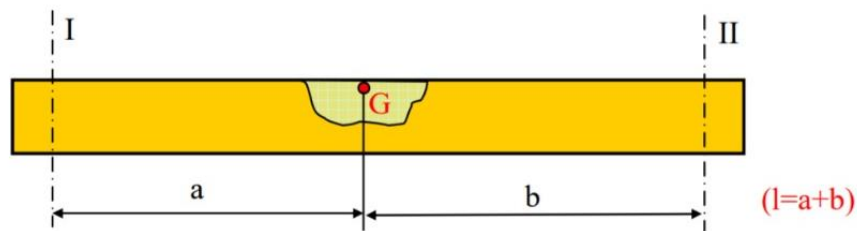
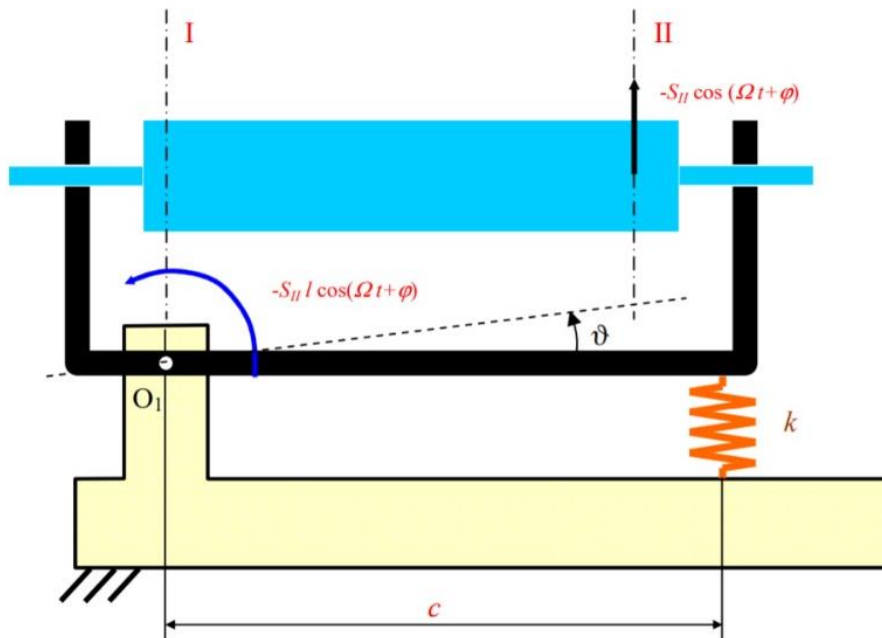


Figura 7.4



Il tipo di macchina equilibratrice più semplice è rappresentato nella Figura 7.7. Il rotore è montato su un supporto oscillante, la cui cerniera si trova su uno dei due piani di equilibratura; il supporto oscillante è anche collegato ad una molla connessa al telaio.



Considerando la scomposizione delle azioni dinamiche effettuata nella pagina precedente, possiamo pensare che sul piano II agisca una forza S_{II} rotante che, sulla verticale darà una componente pari a $-S_{II} \cos(\Omega t + \varphi)$. Tale forza variabile genera un momento rispetto alla cerniera pari a $\tilde{M} = \tilde{M}_0 \cos(\Omega t + \varphi) = -S_{II} l \cos(\Omega t + \varphi)$.

Se k è la costante elastica della molla (Fig. 7.7), la forza di reazione, per una rotazione ϑ del supporto oscillante è $-k c \vartheta$, la coppia risultante sarà $-k c^2 \vartheta$.

L'equazione del moto di rotazione del supporto oscillante è:

$$J\ddot{\vartheta} + kc^2\vartheta = M_0 \cos(\Omega t + \varphi) \quad 7.7$$

dove J è il momento d'inerzia dell'insieme rispetto alla cerniera O_1 . La soluzione è:

$$\vartheta = \Theta \cos(\Omega t + \varphi + \psi) \quad 7.8$$

con:

$$\Theta = \frac{M_0}{|kc^2 - \Omega^2 J|} \quad 7.9$$

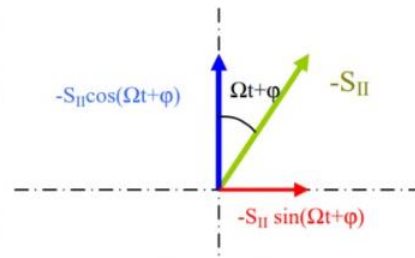


Figura 7.8

Per ciò che concerne la fase si avrà $\psi=0$ se Ω è inferiore a $\sqrt{kc^2/J}$, macchina subcritica, oppure $\psi=\pi$ se Ω è superiore a $\sqrt{kc^2/J}$, macchina supercritica. Le macchine equilibratrici del tipo raffigurato sono in genere supercritiche.

La macchina deve essere dotata di un dispositivo per determinare l'ampiezza di oscillazione massima; ciò può essere fatto in vari modi mediante trasduttori di posizione (in commercio ne esistono di vari tipi). Si deve inoltre determinare la posizione angolare per la quale si ha la massima ampiezza di oscillazione, onde determinare φ , cioè la posizione dove collocare la massa equilibrante.

A questo punto sono noti entità e posizione angolare dello squilibrio e si può procedere all'equilibratura.