FRENI (brakes)

Usura (wear)

A cosa servono i freni (what are the brakes for?)

Un veicolo qualunque deve poter:

- arrestare la sua corsa secondo le volontà del suo conducente;
- decelerare;
- mantenersi immobile se è già fermo;

il tutto compatibilmente con la sicurezza del carico sia di merci che di persone.

Any vehicle must be able to:

stop its run according to the wishes of their drivers; decelerate; stay still if it is already at a standstill; all consistent with the security of the load of both goods and people.

il dispositivo di frenatura deve adempiere alle seguenti funzioni:

- Frenatura di servizio: controllare il movimento del veicolo senza togliere la mani dall'organo di direzione;
- Frenatura di soccorso: arrestare il veicolo mantenendo il controllo dell'organo di direzione almeno con una mano;
- Frenatura di stazionamento: mantenere immobile il veicolo.

the braking device must fulfill the following functions:

Service brake: controlling the movement of the vehicle without removing the hands from the steering;

Secondary braking: stop the vehicle while maintaining control the management organ at least with one hand;

Parking brake: holding the vehicle.

Condizione di sicurezza per un sistema frenante (Safety condition for a brake system)

Un dispositivo di frenatura deve avere almeno due comandi, indipendenti l'uno dall'altro.

A braking device must have at least two controls, independent from one another.

Il comando del dispositivo di frenatura di servizio deve essere indipendente da quello del dispositivo di frenatura di stazionamento.

The command of the braking device of service must be independent of that of the device of the parking braking.

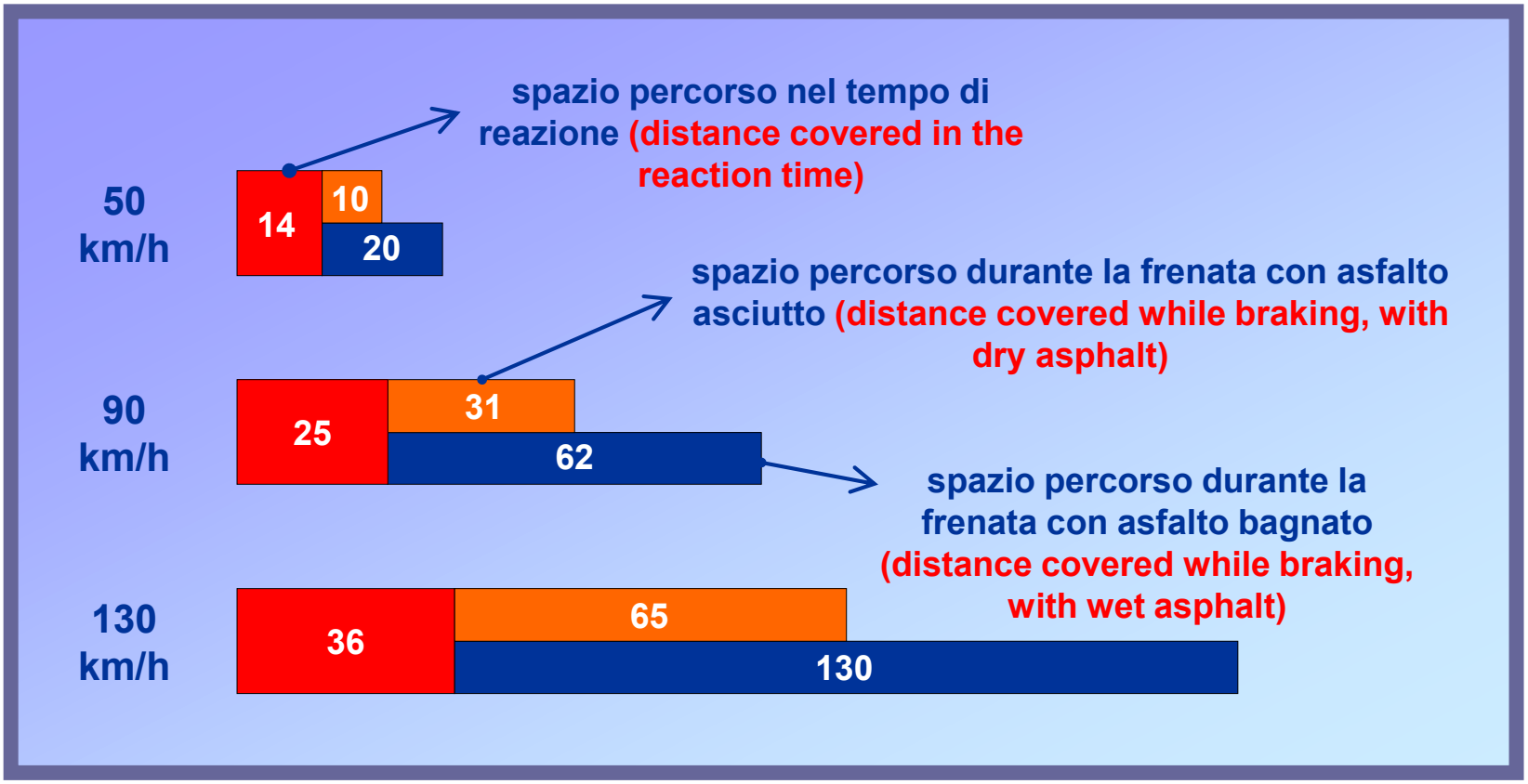
Spazio di arresto (braking distance)

Sa = Spazio di arresto (braking distance):

- Sp = Spazio percorso dal veicolo durante il periodo necessario per consentire al conducente di tradurre la decisione di frenare nell'effettivo azionamento del meccanismo di frenatura. (Sp = space that is covered by the vehicle during the time necessary to allow the driver to translate the decision to brake in the effective actuation of the brake mechanism.)
- Sm = Spazio percorso nel tempo che intercorre per l'accostamento del ceppo al cerchione o della ganascia al tamburo o delle pastiglie al disco, e per il raggiungimento successivo della pressione massima della forza frenante (perditempo meccanico); (Sm = Space crossed through time that elapses to grant the contact between the components of the brake (e.g., the brake pad and the disc), and to achieve the maximum pressure brake force distribution);
- So = Spazio di frenatura vero e proprio (real braking distance)

Sa = Sp + Sm + So

Spazio di arresto in funzione della velocità (braking distance as function of speed)



Composizione di un dispositivo frenante (composition of a brake mechanism)

- un elemento mobile (tamburo o disco) calettato rigidamente alla ruota (o al cerchione o all'asse rotante) (a mobile element (drum or disc) fitted rigidly to the wheel (or to the rim or to the rotary axis))

- un elemento fisso con il telaio del veicolo (per es. il ceppo frenante) su cui viene applicata una forza. (an element, fixed to the frame of the vehicle, on which a force is applied)

N.B.: nel caso di freni idraulici si tratta sempre di una applicazione del principio di Pascal: la pressione del piede sul pedale si trasmette attraverso l'olio dei freni alle ganasce e da queste al tamburo.

(in the case of hydraulic brakes it is always an application of Pascal's principle: the pressure of the foot on the pedal is transmitted through the brake fluid to the brake shoes and from these to the drum)

Classificazione di un dispositivo frenante (classification of a braking device)

Diretto: si fa ricorso alla forza del guidatore. (Direct: the braking effect depends on the force of the driver)

Indiretto: è interposto fra guidatore ed organi frenanti un meccanismo di produzione e distribuzione della forza frenante (servofreno). (Indirect: a mechanism of production and distribution of the braking force is interposed between the driver and the braking device (brake booster)

Requisiti di un dispositivo frenante (Requirements of a braking device)

- rapidità: arresto del veicolo nel minor tempo possibile compatibilmente con il comfort e la sicurezza. (rapidity: stopping the vehicle in the shortest time possible, consistent with the comfort and safety.)
- moderabilità: decelerazione regolabile dal guidatore sia nella frenatura che nella sfrenatura. (controllability: both in braking and in releasing the brake)
- inesauribilità: efficienza del freno inalterata anche dopo un uso continuato. (inexhaustibility: brake efficiency unchanged even after repeated use.)
- dolcezza e progressività: piccole variazioni della decelerazione nel tempo. (softness and progressivity: small variations in the deceleration).

Il principio di funzionamento dei freni (principle of operation)

I freni basano il loro principio di funzionamento sull'esistenza delle forze di attrito. (brakes work due to the existence of frictional forces)

forza d'attrito: forza che si manifesta al contatto tra due corpi e che si oppone al loro spostamento relativo.

(frictional force: force that is manifested at the contact between two bodies and which oppose the relative displacement.)

Solitamente le forze di attrito sono considerate "negative", in quanto provocano perdite di energia anche notevoli. In alcuni casi tuttavia, le forze di attrito divengono "positive" anzi indispensabili, poiché con la loro presenza garantiscono la trasmissione di forze o momenti in organi quali freni e frizioni.

(Usually, the frictional forces are considered "adverse", since they cause energy losses also considerable. In some cases, however, the frictional forces become "positive" and essential, since their presence ensures the transmission of forces or moments in organs such as brakes and clutches.)

I freni e l'usura (the brakes and the wear)

Strettamente correlato con il problema legato alle forze d'attrito è quello riguardante l'usura. (wear is related to the forces of friction)

Usura: fenomeno a seguito del quale si ha la distruzione delle asperità superficiali presenti su due superfici metalliche (e non solo) poste a contatto diretto e striscianti l'una sull'altra.

Wear: phenomenon which causes the destruction of surface asperities present on two metal surfaces (and not only) in direct contact and sliding on one another.

L'usura presenta un: (the wear has:)

- effetto negativo: logorio delle superfici (negative effect: wear surfaces)
- effetto positivo: adattamento delle superfici a contatto. (positive effect: adaptation of the contact surfaces)

Nel dispositivo frenante gli elementi che lo costituiscono hanno differente durezza cosicché il volume del materiale asportato è costituito prevalentemente dal materiale meno duro. (In a brake device the elements that constitute it have different hardness so that the volume of material removed is predominantly constituted by the less hard material.)

L'usura (wear)

Si definisce **usura** la perdita di materiale superficiale che si verifica progressivamente sulle superfici di corpi a contatto soggette a moto relativo. (wear: loss of surface material that occurs progressively on the surfaces of bodies in contact subject to relative motion.)

Pur presentandosi insieme con l'**attrito**, l'usura non è correlata ad esso in modo semplice ed univoco: vi sono, infatti, coppie cinematiche che presentano basso coefficiente d'attrito ed elevato tasso di usura e viceversa. (the wear is not related to the friction in a simple and unique: there are, in fact, kinematic pairs that have low coefficient of friction and high wear rate and vice versa.)

Ipotesi di Reye: il volume di materiale asportato è proporzionale al lavoro delle forze di attrito.

Reye's hypothesis: the volume of material removed is proportional to the work of the friction forces.

L'usura

Il rapporto fra volume di materiale asportato ed energia dissipata dipende ovviamente dalla natura dei materiali a contatto, dalle loro caratteristiche meccaniche (in particolare dalla durezza) e dalla modalità dell'usura. (The ratio between volume of removed material and energy dissipated obviously depends on the nature of the materials in contact, by their mechanical characteristics (in particular the hardness) and by the mode of wear.)

Se i due corpi a contatto hanno differente durezza, il volume di materiale asportato è costituito prevalentemente dal materiale meno duro. (If the two bodies are in contact have different hardness, the volume of material removed is predominantly constituted by the less hard material.)

Si considerano generalmente quattro principali tipi di usura, e precisamente **usura adesiva**, **usura abrasiva**, **usura corrosiva** e **fatica superficiale**. (there are four main types of wear: adhesive wear, abrasive wear, corrosive wear and surface fatigue.)

Usura Adesiva (adhesive wear)

Def.: si ha ***usura adesiva*** quando, durante il moto relativo fra due corpi, premuti uno contro l'altro, si rompono le microgiunzioni che si formano. (during the relative motion between two bodies pressed against one another, the microjoints are broken.)

il volume *V* di materiale asportato è proporzionale all'area effettiva di contatto *Ac* e allo spostamento relativo *s* dei due corpi: (V the volume of material removed is proportional to the effective area of contact Ac and to the relative displacement s of the two bodies):

$$V = KA_c s = K\frac{N \cdot s}{R_s}$$

con *K* costante di proporzionalità. (K is a constant)

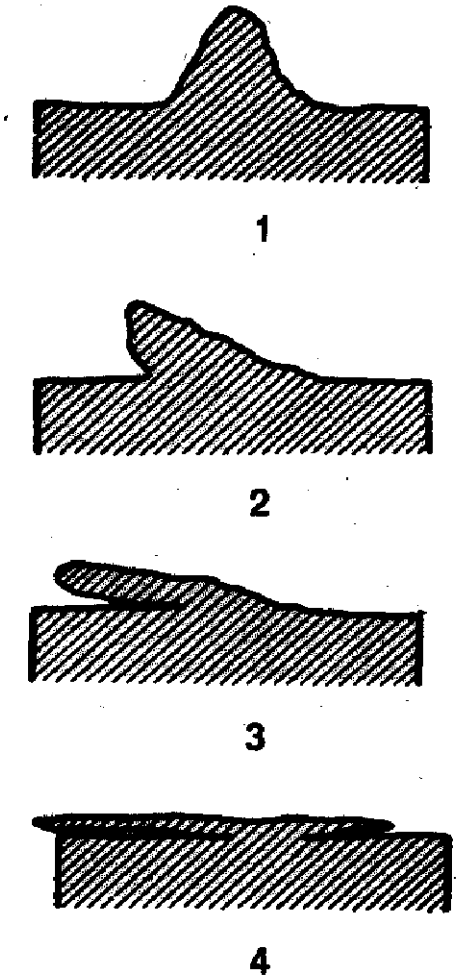
Tale relazione esprime le leggi dell'usura adesiva, per le quali il volume di materiale asportato:

- è proporzionale allo spostamento relativo (is proportional to the relative displacement);
- è proporzionale al carico applicato (is proportional to the applied load);
- è inversamente proporzionale alla tensione di snervamento R_s (o, ciò che è lo stesso, alla durezza superficiale) del materiale più tenero. (is inversely proportional to the yield stress Rs of the softer material)

Usura Adesiva (adhesive wear)

Usura adesiva: **laminazione (lamination)**

1. Protuberanza originaria;
2. Inizio della deformazione;
3. Deformazione pronunciata;
4. Stato di laminazione precedente il distacco.

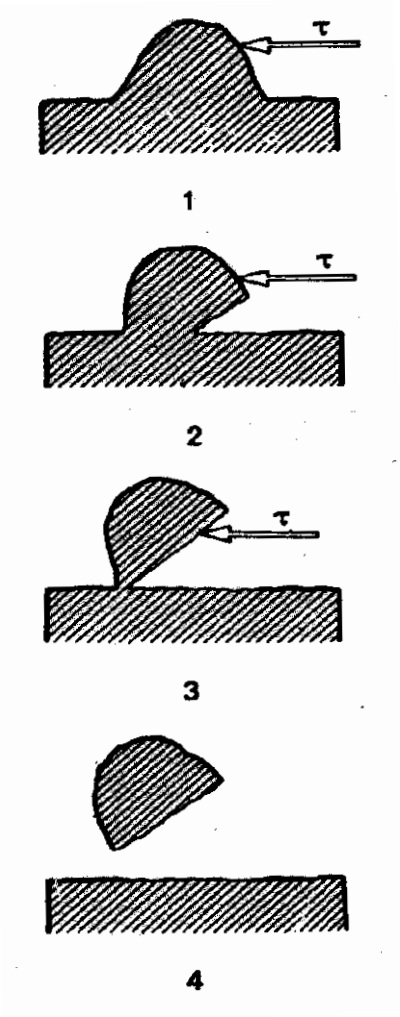


Usura Adesiva (adhesive wear)

Usura adesiva:

distacco per taglio (cutting)

1. Protuberanza originaria;
2. Inizio del taglio alla base;
3. Distacco;
4. Allontanamento.

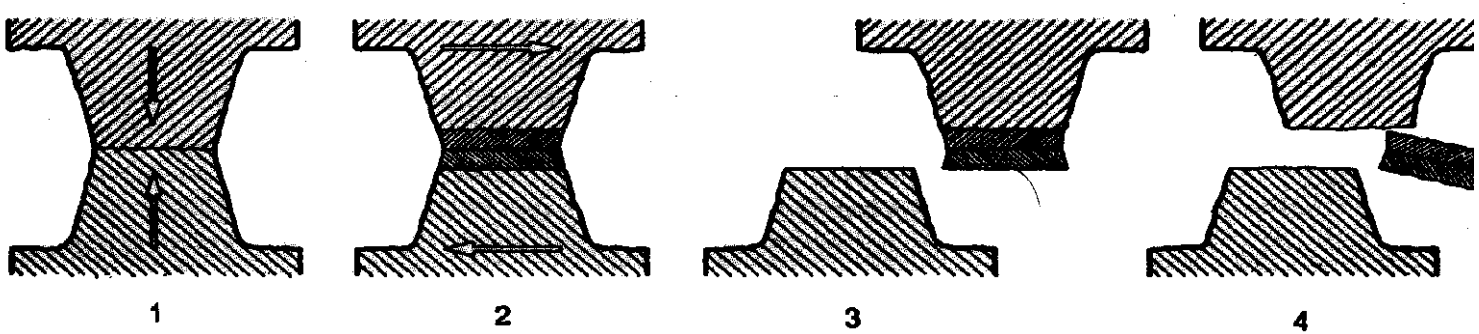


Usura Adesiva (adhesive wear)

Usura adesiva:

rimozione per saldatura
(removal due to welding)

1. Configurazione originaria;
2. Protuberanze saldate;
3. Distacco di una protuberanza;
4. Distacco del frammento.



Usura Abrasiva (abrasive wear)

E' dovuta:

- all'azione di **solcatura** esercitata in un materiale più tenero dalle sporgenze della rugosità superficiale del corpo accoppiato più duro (questa azione è evidentemente tanto più ridotta quanto minore è la rugosità superficiale del materiale più duro)
- da particelle dure interposte fra i due corpi a contatto, che possono provenire o dall'ambiente circostante (esempio, particelle di sabbia silicea) o essere originate dall'azione dell'usura, soprattutto di quella corrosiva e di quella adesiva, che spesso originano appunto detriti di elevata durezza.

due to:

- of grooving action exerted in a softer material by the projections of the surface roughness of the body coupled harder
- hard particles interposed between the two bodies in contact, that may originate or from the surrounding environment (eg, particles of silica sand) or be caused by water on the wear, especially of the corrosive and of the adhesive, which often originate in fact debris of high hardness.

Le leggi dell'usura abrasiva sono analoghe a quelle dell'usura adesiva, cioè il volume di materiale asportato si può esprimere nella forma:

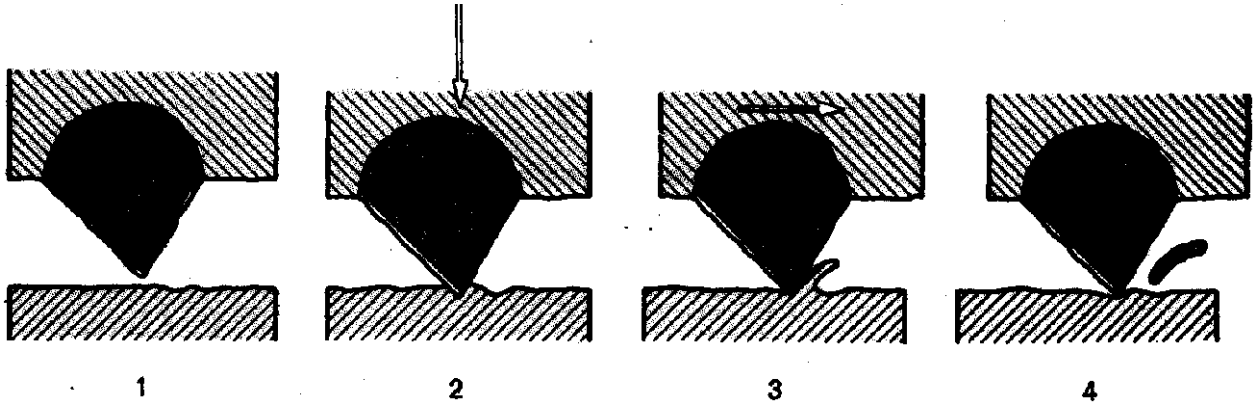
$$V = K \frac{N \cdot s}{R_s}$$

Nel caso del contatto fra due metalli, la costante di proporzionalità *K* è tanto maggiore quanto maggiore è il rapporto fra le durezze superficiali dei due materiali: se queste sono uguali, *K* tende a zero, cioè l 'usura abrasiva non si verifica. (the higher is the ratio between the hardness of the two materials, the higher K)

Usura Abrasiva

Successione delle fasi della rimozione nell'usura abrasiva:

1. Protuberanza originaria;
2. Penetrazione;
3. Formazione del truciolo;
4. Distacco del truciolo.



Usura Corrosiva (corrosive wear)

Sulle superfici metalliche si formano degli strati di composti, dovuti all'azione chimica delle sostanze presenti nell'ambiente.

Queste pellicole superficiali hanno di solito un'azione protettiva sul metallo sottostante e se, a causa dello strisciamento, vengono asportate, si riformano molto rapidamente.

On the metal surfaces there are layers of compounds, due to the chemical action of the substances present in the environment. They usually have a protective action on the underlying metal and if, as a result of creep, are removed, they are replenished very quickly.

In ambiente corrosivo, l'azione meccanica e quella chimica possono esaltare reciprocamente i rispettivi effetti: gli strati superficiali - chimicamente protettivi ma facilmente asportabili - vengono continuamente rimossi e subito si riformano: si innesca così un meccanismo di usura che può talvolta essere molto rapida. In corrosive environments, mechanical and chemical action can enhance each other's effects: the surface layers - chemically protective but can be easily removed - are continuously removed and immediately re-formed: it triggers a mechanism of wear which can sometimes be very fast.

I lubrificanti esercitano di solito un'efficace azione protettiva contro l'usura corrosiva. (Lubricants usually exert an effective protection against corrosive wear.)

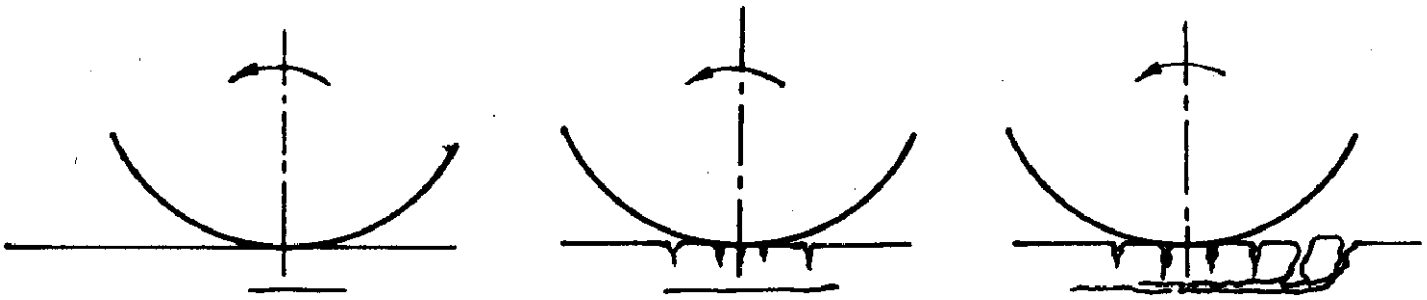
Usura Superficiale (wear surface)

Sappiamo della **teoria di Hertz** che nel contatto fra due corpi premuti uno contro l'altro e limitati da superfici con curvatura relativa diversa da zero, la sollecitazione raggiunge il valore massimo non sulla superficie dei corpi, ma ad una certa profondità. Frequentemente questa profondità può essere dell'ordine di 0,1 - 0,3 mm; essa dipende, comunque, dalla geometria dei corpi a contatto, dai materiali e dal carico agente. from the Hertz theory we know that in the contact between two bodies pressed against one another and limited by surfaces with non-zero relative curvature, the stress reaches the maximum value not on the surface of the bodies, but at a certain depth. Frequently, this depth may be of the order of 0.1 - 0.3 mm; it depends, however, on the geometry of bodies in contact, by the materials and from the load agent.

Se il carico viene ripetutamente applicato e tolto, nella zona subsuperficiale dove la sollecitazione è massima può originarsi una **fessura**, che può poi propagarsi ed estendersi fino alla superficie, con conseguente distacco di una scaglia di materiale. Questo tipo di usura per fatica superficiale, spesso indicato con il termine inglese «**pitting**», è tipico dei contatti di rotolamento sotto forti pressioni (es.: cuscinetti a rotolamento, ruote dentate). If the load is repeatedly applied and removed, in the subsurface area where the stress is maximum, a fissure can originate, which can then spread and extend up to the surface, with consequent detachment of a flake of material. This type of wear surface fatigue, often referred to as "pitting", is typical of the rolling contact under high pressure (eg, bearings, gears).

Usura Superficiale

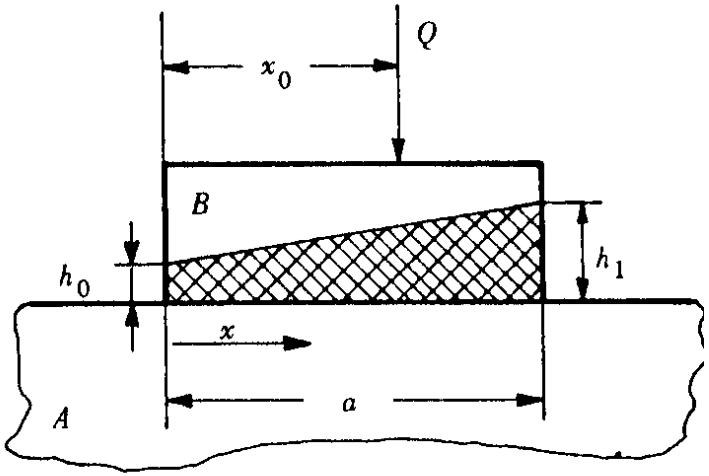
A differenza degli altri tipi di usura, la fatica superficiale può presentarsi anche se fra i due solidi è interposto uno strato continuo di lubrificante fluido, nel quale la pressione raggiunga valori molto elevati. Unlike other types of wear, the surface fatigue can occur even if between the two solids is interposed a continuous layer of lubricant fluid, in which the pressure reaches very high values.



Coppia Prismatica (Prismatic pair)

L'ipotesi di Reye consente di trovare la **distribuzione della pressione di contatto** nota che sia la **distribuzione dell'usura**, e viceversa. (The hypothesis of Reye allows to find the distribution of the contact pressure known the distribution of wear, and vice versa.)

Sappiamo che per lo spostamento del pattino, in condizione di moto uniforme, è richiesta una forza *fQ* diretta secondo la direzione del moto ed equiversa con esso. Per giungere a questo risultato non è necessario conoscere la distribuzione della pressione; ma se vogliamo trovare il valore massimo della pressione ovvero l'andamento dell'usura del pattino, possiamo fare ricorso all'ipotesi del Reye. (Reye's hyphotesis may be used to evaluate the maximum pressure)



Coppia Prismatica (Prismatic pair)

Se supponiamo che l'usura si localizzi sul pattino, tanto che possa ammettersi, almeno in prima approssimazione, che il piano di appoggio non sia soggetto ad usura, si conclude che, dovendo i corpi *A* e *B* restare a contatto, questa deve essere distribuita sul pattino secondo una legge lineare. (the wear is linear; the plane is not subjected to wear)

Indicano con *h* lo spessore che l'usura viene ad avere dopo un certo periodo di tempo di funzionamento, si può scrivere: (h: heigth of the volume)

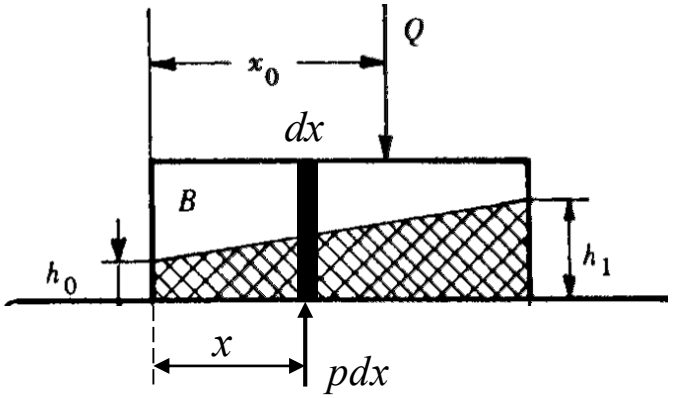
$$h = h_0 + \frac{h_1 - h_0}{a} x$$

Su di un'area elementare della superficie di appoggio del pattino, si esercita:

una forza normale (normal force) pdx

una forza tangenziale (tangential force) $fpdx$

lavoro delle forza d'attrito: (work) $sfpdx$



Coppia Prismatica

Si può scrivere, per l'ipotesi di Reye:

$$sfpdx \propto (h_0 + \frac{h_1 - h_0}{a} x)dx \qquad p = \frac{C}{s}\left(h_0 + \frac{h_1 - h_0}{a} x\right) \qquad p = C_1\left(1 + \frac{m}{a} x\right)$$

avendo posto:

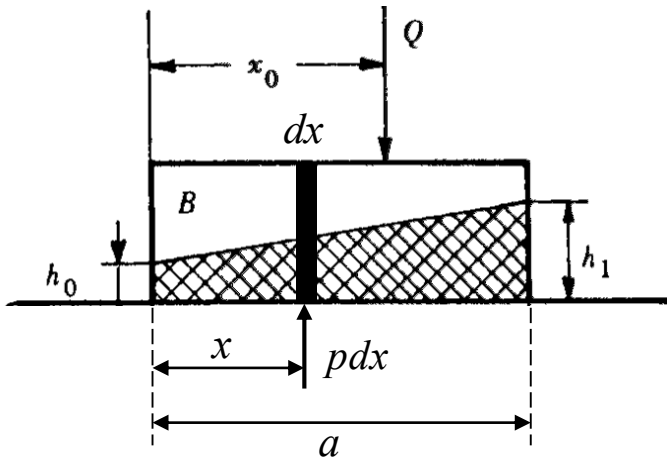
$$m = \frac{h_1 - h_0}{h_0} \qquad \frac{C}{s} h_o = C_1$$

Equazione di equilibrio alla traslazione secondo la normale al piano di appoggio: (for the equilibrium to translation)

$$Q = b\int_o^a pdx$$

Equazione di equilibrio alla rotazione attorno all'origine delle coordinate: (equilibrium to rotation)

$$Qx_o = b\int_o^a pxdx$$



Coppia Prismatica

possiamo quindi calcolare le due incognite:

$$m = \frac{6x_o - 3a}{2a - 3x_o}$$

$$p = \frac{Q}{ab}\left[4 - \frac{6x_o}{a} + 6\left(\frac{2x_o}{a} - 1\right)\frac{x}{a}\right]$$

valida purché:

$$\frac{a}{3} \le x_0 < \frac{2a}{3}$$

cioè *Q* deve cadere sul terzo medio di a, affinché *p* sia positiva su tutto il pattino.

(the pressure p must be always positive)

$$h = h_0\left(1 + \frac{6x_0 - 3a}{2a - 3x_0}\frac{x}{a}\right)$$

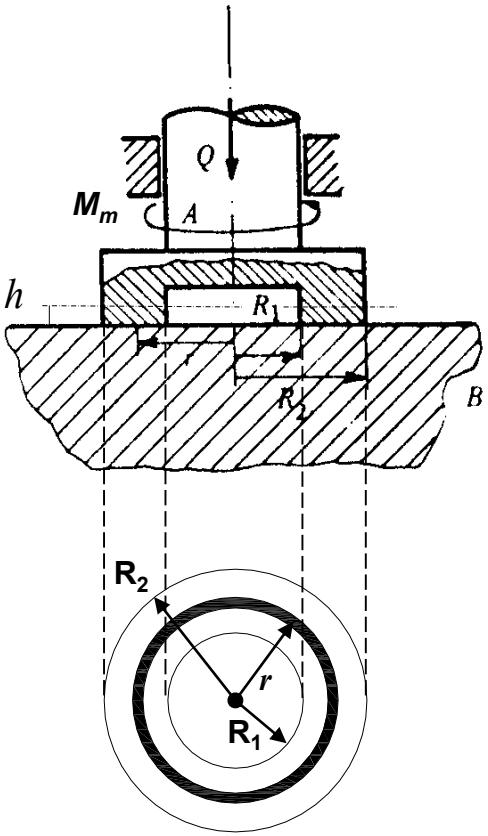
La distribuzione della pressione è lineare e varia linearmente al variare dell'ascissa.
(pressure is linear)

Coppia Rotoidale di Spinta

La superficie di appoggio è una corona circolare di raggi interno R_1 ed esterno R_2.

Si suppone che uno solo dei due membri a contatto, ad esempio l'albero, si usuri.

Si vuole trovare il **momento** M_m necessario per mantenere l'albero in rotazione uniforme. (moment M to keep the shaft rotating at constant velocity)



Area della corona circolare infinitesima: $2\pi r dr$

Forza normale: (normal force) $2\pi r dr p$

Forza tangenziale: (tangential force) $2\pi r dr p f$

Lavoro delle forze di attrito: (work) $2\pi r\, dr\, pf\, r\vartheta$

Volume asportato: (volume) $2\pi r\, drh$

Coppia Rotoidale di Spinta

Per l'ipotesi di Reye si può scrivere allora: $2\pi fpr^2\vartheta dr \propto 2\pi hrdr$

Si trova, che la distribuzione della pressione segue una legge iperbolica:

$$pr = \frac{h}{f\vartheta}\overline{C} = C$$

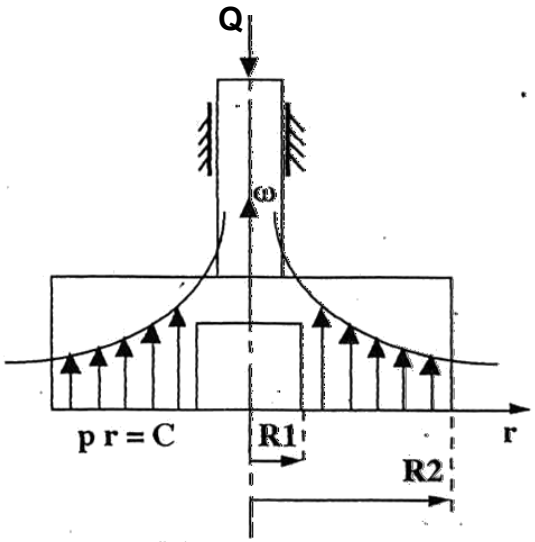
Per il calcolo della costante occorre considerare l'equilibrio dell'albero alla traslazione secondo l'asse. (for equilibrium:)

$$2\pi\int_{R_1}^{R_2} prdr = Q$$

$$2\pi C\int_{R_1}^{R_2} dr = Q$$

$$C = \frac{Q}{2\pi\left(R_2 - R_1\right)}$$

$$p = \frac{Q}{2\pi r\left(R_2 - R_1\right)}$$



Coppia Rotoidale di Spinta

l'equilibrio dell'albero alla rotazione attorno al proprio asse.

$$2\pi\int_{R_1}^{R_2} pf\, r^2 dr = M_m \qquad 2\pi f\, C\int_{R_1}^{R_2} r dr = M_m$$

$$M_m = f\, Q\frac{R_1 + R_2}{2}$$

Il contatto fra albero e appoggio è localizzato su di una circonferenza di raggio uguale alla media aritmetica dei raggi che delimitano la corona circolare di contatto. The contact between the shaft and bearing surface is located on a circumference of radius equal to the arithmetic average of the radii which delimit the circular crown of contact.

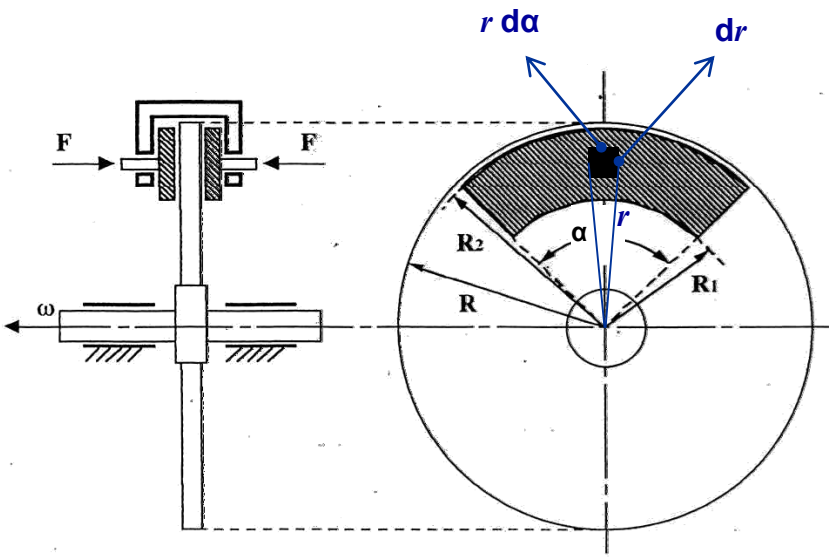
Freni a Disco (disc brakes)

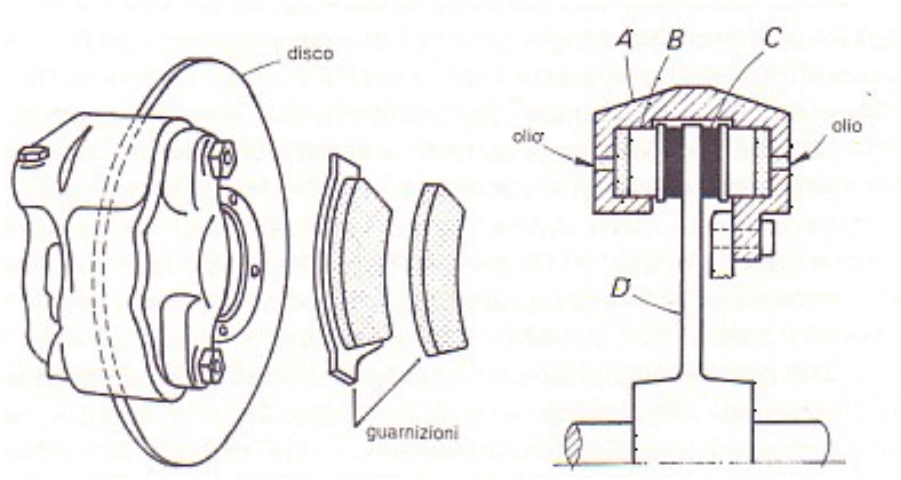
elemento mobile: disco calettato rigidamente alla ruota (mobile element: disc)

elemento fisso: pinza contenente due piastre (pastiglie) sollecitate da due sistemi idraulici cilindro-pistone (fixed element: clamp)

N.B.: questi tipi di freni oggi sono utilizzati anche nei veicoli ferroviari in servizio nelle linee ad alta velocità.

Freni a Disco





area di un elemento infinitesimo: $rd\alpha dR$

forza normale: $prd\alpha dR$

forza tangenziale: $pf\ rd\alpha dR$

lavoro delle forze di attrito: $pf\ rd\alpha dR\,\vartheta R$

Freni a Disco

Per l'ipotesi di Reye si ha: $rd\alpha dR\,h \propto pf\,rd\alpha dR\,\vartheta R$

Da cui: $$pr = \frac{h}{f\,\vartheta} = \text{cost} = \text{C}$$

Scrivendo l'equazione di equilibrio alla traslazione secondo l'asse si ha:

$$F = \int_0^{\alpha}\int_{R_1}^{R_2} prd\alpha dR \qquad = C\alpha\left(R_2 - R_1\right)$$

$$C = \frac{F}{\alpha\left(R_2 - R_1\right)}$$

Freni a Disco

Per determinare il momento M_f, si scrive la condizione di equilibrio dell'albero alla rotazione intorno al proprio asse: (equilibrium to rotation)

$$M_f = \int_0^{\alpha} \int_{R_1}^{R_2} pf\, r^2 d\alpha dR \quad = Cf\alpha \left(\frac{R_2^2 - R_1^2}{2} \right)$$

Da cui:

$$M_f = f\, F \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right)$$

Si desume quindi che per elevare il momento frenante occorre: (to increase M:)

- Un elevato coefficiente di attrito *f*; (high value of f)
- Una elevata forza *F*; (high value of force)
- Disporre la pastiglia distante dal centro. (high distance from the center of the disc)

Freni a Disco

Vantaggi

1 – Leggerezza

2 – facilità nel disperdere il calore

3 – capacità autopulente

4 – elevato momento frenante

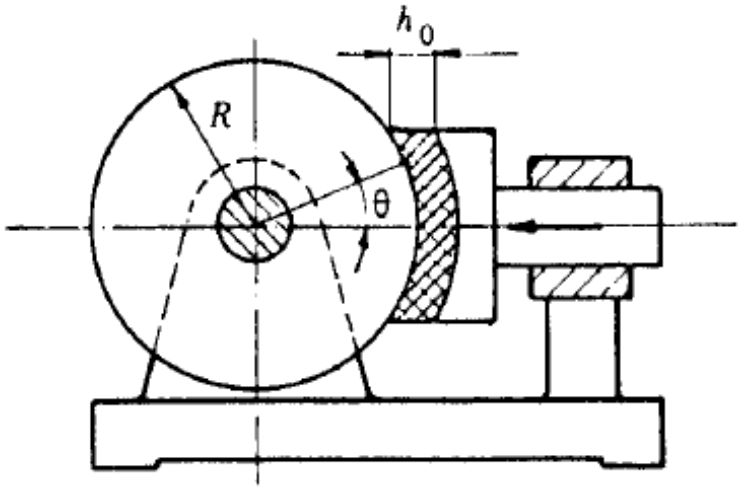
5 – elevata flessibilità progettuale

Svantaggi

1 – non sono indicati come freni di stazionamento (per le alte pressioni che causerebbero problemi di incollaggio)

Freno a ceppi (ESCLUSO)

Un ceppo, rivestito esternamente di materiale d'attrito, viene accostato radialmente per effetto di una forza F ad una puleggia ruotante con velocità angolare ω. Sia la puleggia che il ceppo hanno spessore b.



Computando gli angoli θ a partire dalla direzione dell'accostamento, nella direzione radiale, al generico valore di θ, lo spessore asportato vale:

$$h = h_0 \cos\theta$$

Da questa relazione, applicando le ipotesi di Reye, si può ricavare la distribuzione delle pressioni al contatto:

$$\boxed{p = p_0 \cos\theta}$$

Dove p_0 è la pressione per $\theta = 0$.

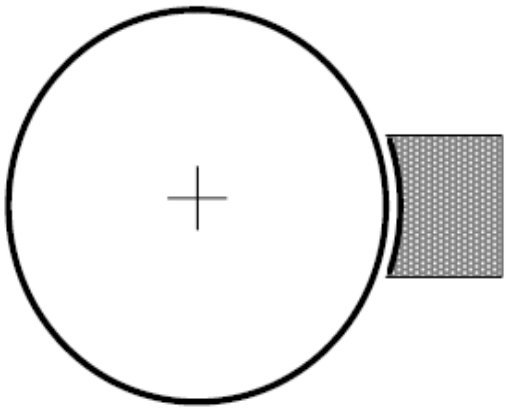
Freno a ceppi

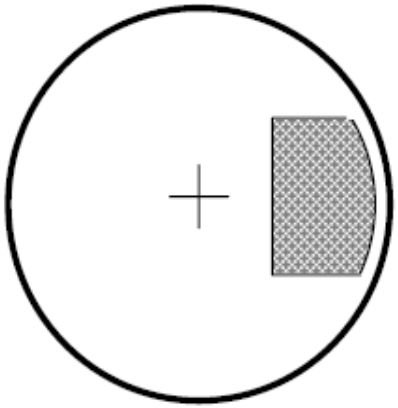
Le superfici di accoppiamento sono cilindriche.

Il ceppo può essere:

- esterno (freni ferroviari)

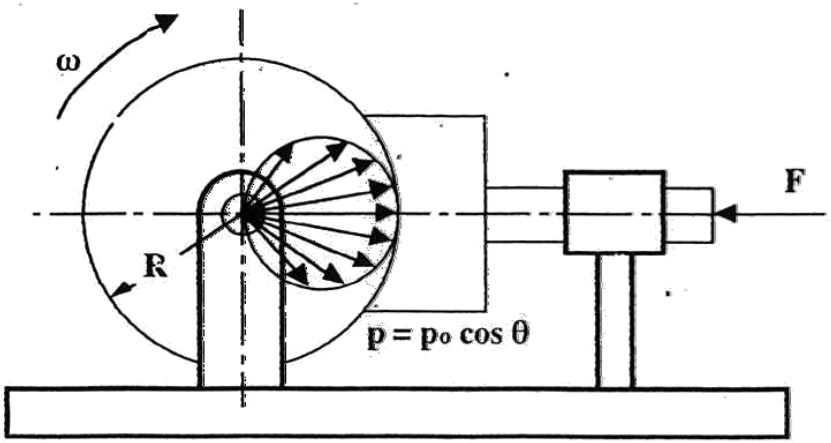
- interno (freni veicolari)





Freno a ceppi

Distribuzione polare delle pressioni



Dall'analisi della distribuzione della pressione si deduce che la maggiore azione frenante è generata dagli elementi del ceppo più vicini alla direzione d'accostamento.

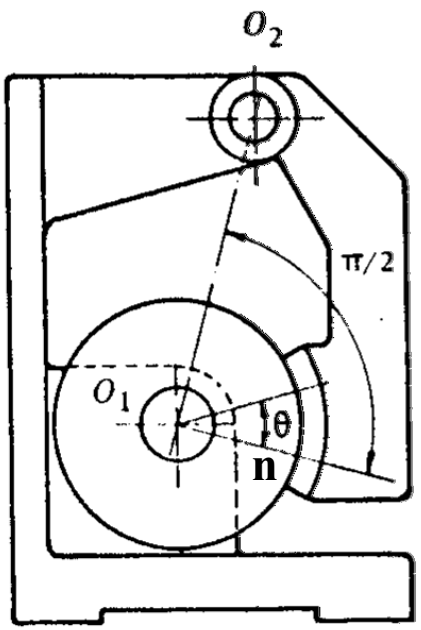
Inoltre è opportuno ricordare che normalmente sulla puleggia vengono premuti due ceppi e un elevato valore dell'angolo Θ di contatto di ciascun ceppo riduce la superficie libera della puleggia atta a meglio smaltire il calore prodotto nella fase di frenatura.

Freno a ceppi

I questo caso il ceppo viene accostato mediante un moto rotatorio intorno ad un generico punto O_2 esterno al cerchio della puleggia.

La rotazione del ceppo intorno al punto O2 si può sostituire con una rotazione intorno ad O1 e una traslazione lungo la retta n ortogonale alla congiungente O1O2.

Il primo dei due moti è del tutto ininfluente per la frenatura della puleggia;
Il secondo implica che la retta n, del fittizio accostamento, è quella a partire dalla quale si debbano computare gli angoli θ per determinare la distribuzione della pressione, su di essa la pressione è massima e vale p_0.



Freno a tamburo (drum brake)

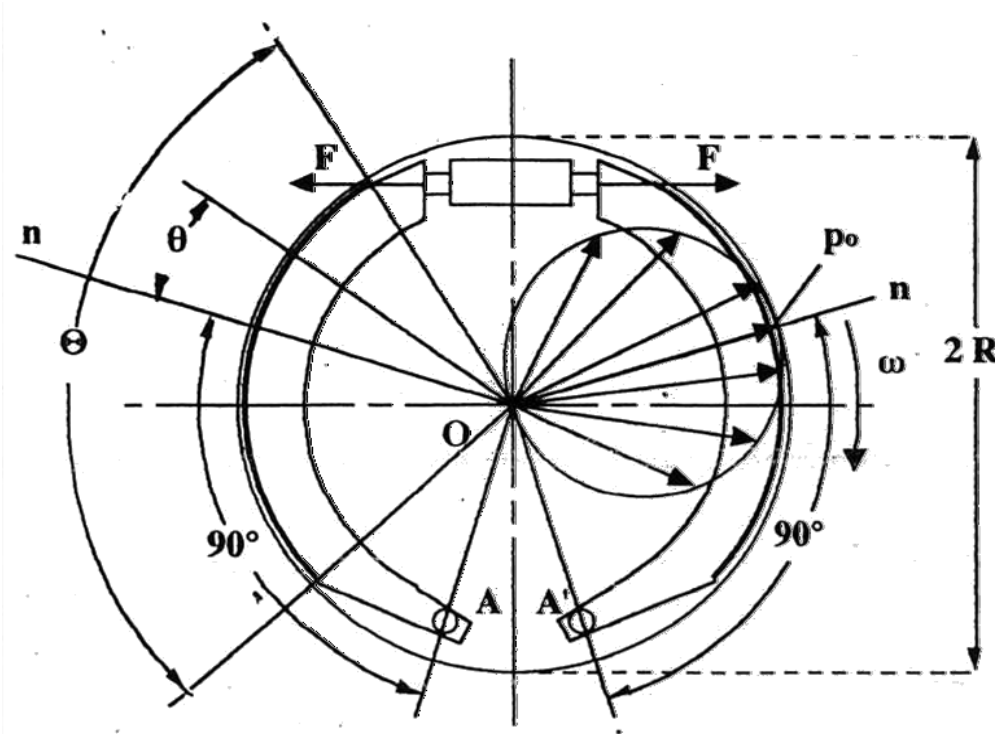
elemento mobile: tamburo metallico solidale con il centro ruota (mobile element: drum)

elemento fisso: due o tre ganasce ad arco di cerchio imperniato, ad un estremo, ad una piastra solidale con l'assale delle ruote o del telaio. (fixed elements: two or three clamps, fixed to the frame of the wheel)

N.B.: la forza H viene applicata all'altra estremità di ognuna delle ganasce, in direzione tangenziale, per mezzo di un sistema cilindro-pistone. Una molla di richiamo collega le estremità delle due ganasce. La superficie di attrito del tamburo è metallica, liscia; quella delle ganasce è di materiale tipo "ferodo".

Freno a tamburo

In figura è rappresentato schematicamente un freno a tamburo.



Θ = estensione del contatto tra ganascia e tamburo;

n = retta del fittizio accostamento;

Distribuzione delle pressioni

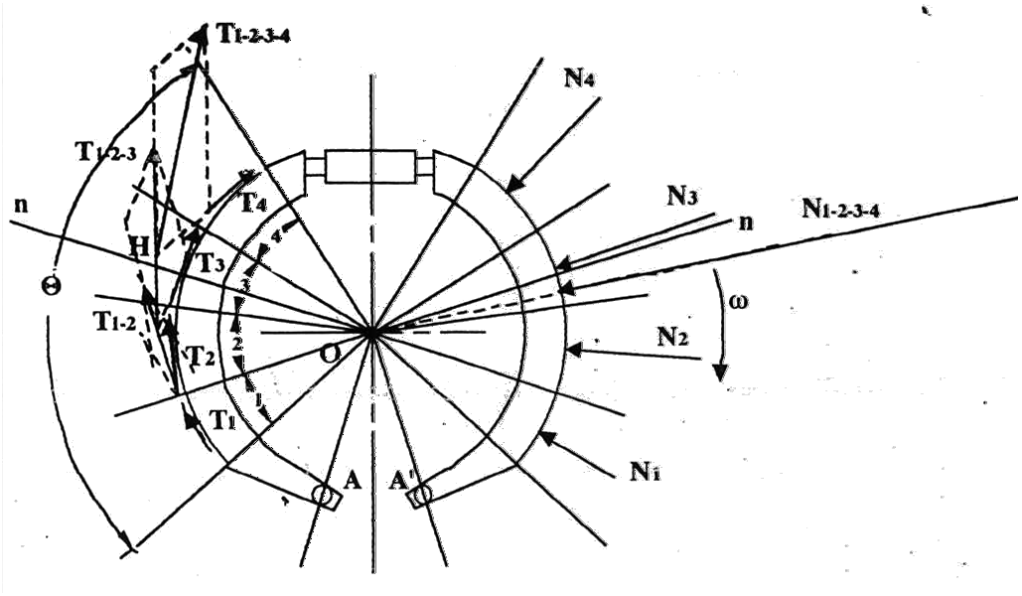
$p = p_0 \cos\theta$

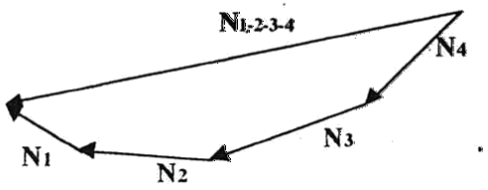
Freno a tamburo

Determinazione grafica del momento frenante Mf

Per determinare graficamente il momento frenante si divide l'arco di contatto in parti uguali a partire dalla retta n, determinando le risultanti N_i delle sollecitazioni normali agenti sulle singole i-esime parti.

Con il poligono funicolare si determina la risultante N di tali forze che sarà anch'essa diretta radialmente.



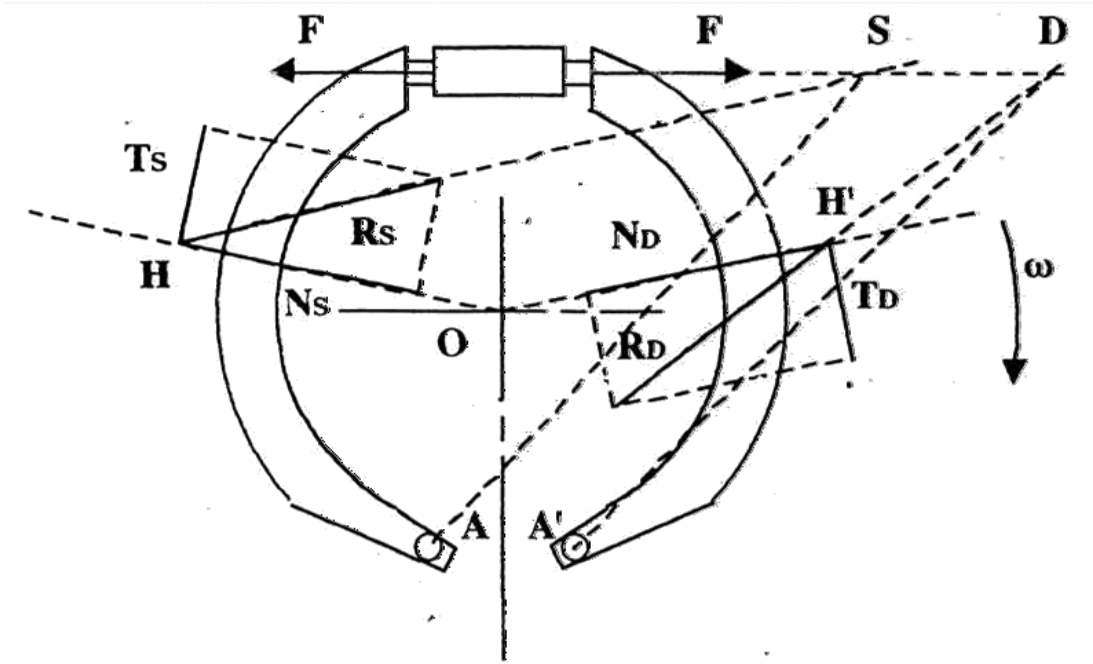


La forza tangenziale T sarà ortogonale alla direzione del vettore N, con verso tale da opporsi al moto relativo e con modulo che si ricava dalla seguente formula:

$$T = f_s N$$

Freno a tamburo

Il punto di applicazione H della risultante T cade al di fuori della circonferenza del tamburo.



Considerando il contributo delle due ganasce il momento frenante complessivo M_f vale:

$$M_f = M_{f_D} + M_{f_S} = (R_D + R_S)\overline{OH}\, senf$$

Confronto freni a disco ed a tamburo

Efficacia: i freni a tamburo danno luogo a coppie di frenatura da due a quattro volte superiori a quelle dei freni monodisco dello stesso ingombro.

Forze di comando: nel caso di freni a disco le forze di comando sono equilibrate e sui cuscinetti grava soltanto la reazione dovuta alla forza d'attrito fra guarnizioni e ceppi.

Regolarità: i freni a tamburo sono efficaci ma pagano questa efficacia con una modesta regolarità. Il contrario avviene nei freni a disco.

Usura: nei freni a tamburo la ripartizione della pressione di contatto, e quindi dell'usura, è disuniforme. Nei freni a disco, invece, la pressione è molto più uniforme e l'usura più regolare.

Caratteristiche costruttive: la forma costruttiva dei freni a disco è più semplice di quella dei freni a tamburo. Il numero di membri che costituiscono un freno a disco è circa la metà di quelli costituenti un freno a tamburo, il peso è quindi inferiore nella misura del 20÷50%.