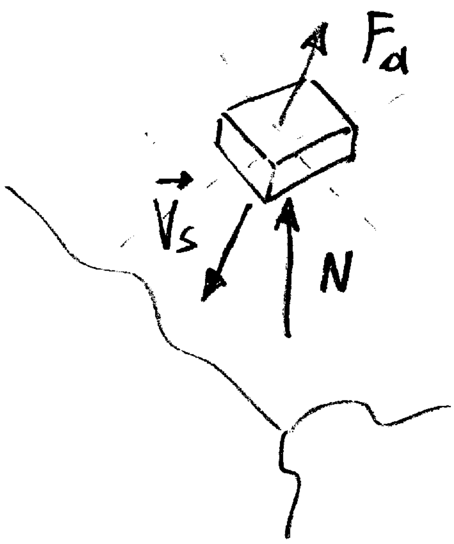
SI HA ATTRITO DINAMICO QUANDO C'E' STRISCIAMENTO FRA LE 2 PARTI

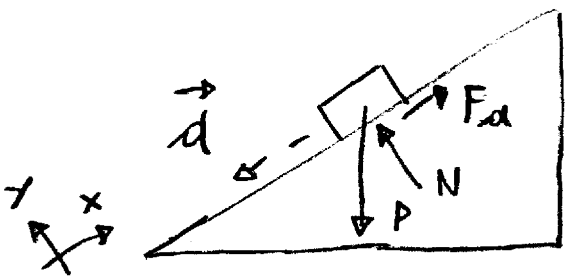
A QUESTO PUNTO LA FORZA E' $F_d = N f_d$

IN CUI f_d E' IL COEFF. D'ATTRITO DINAMICO, LA DIREZIONE DELLA FORZA E' // ALLA VELOCITA' E VERSO OPPOSTO



LA VELOCITÀ CHE CONTROLLA DIREZIONE (E VERSO) DELLA F. DI ATTRITO DINAMICO E' LA VELOCITÀ DI STRISCIAMENTO CIOE' LA VEL. RELATIVA DI UN CORPO RISPETTO ALL' ALTRO

ESEMPIO: PIANO INCLINATO



$$N = P \cos\alpha$$

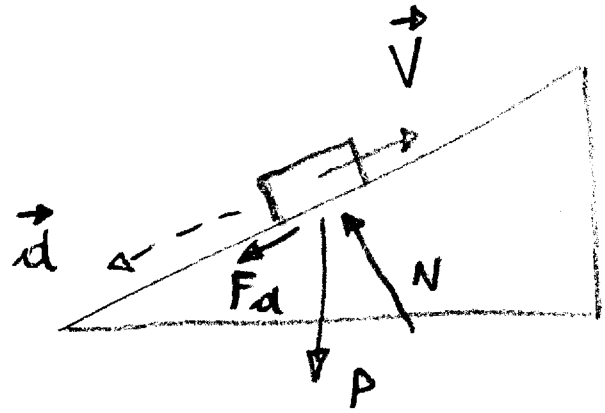
$$F_d = N \cdot f_d$$

$$-P\sin\alpha + F_d = -m a$$

$$a = \frac{P\sin\alpha - N f_d}{m}$$

$$= \frac{P\sin\alpha - P\cos\alpha f_d}{m} = g(\sin\alpha - \cos\alpha f_d)$$

IL VERSO DELLA F. DI ATTRITO DIPENDE DALLA VELOCITÀ, NON DALL'ACCELERAZIONE



IN QUESTO CASO:

$$a = g\,(\sin\alpha + \cos\alpha\, f_d)$$

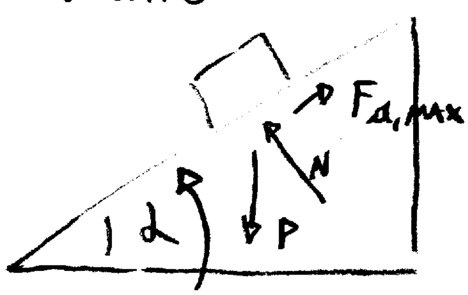
GENERALMENTE $f_d < f_a$, ES.: $f_d = 0.15$

MENTRE $f_a = 0.2$

A VOLTE, PER SEMPLICITÀ, SI CONSIDERA UN UNICO COEFFICIENTE D'ATTRITO f, ES.: $f = 0.2$ SIA PER ADERENZA SIA PER C. D'ATT. DINAMICO

IN CONDIZIONI DINAMICHE C'E' UN CONTATTO MENO DIRETTO FRA LA RUGOSITÀ DELLE DUE SUPERFICI PER QUESTO $f_d < f_a$

ATTRITO LIMITE, PIANO INCLINATO



SUPPONIAMO DI POTER REGOLARE α

SI HA LA CONDIZ. LIMITE QUANDO:

$$\alpha = \operatorname{arctg} f_a$$

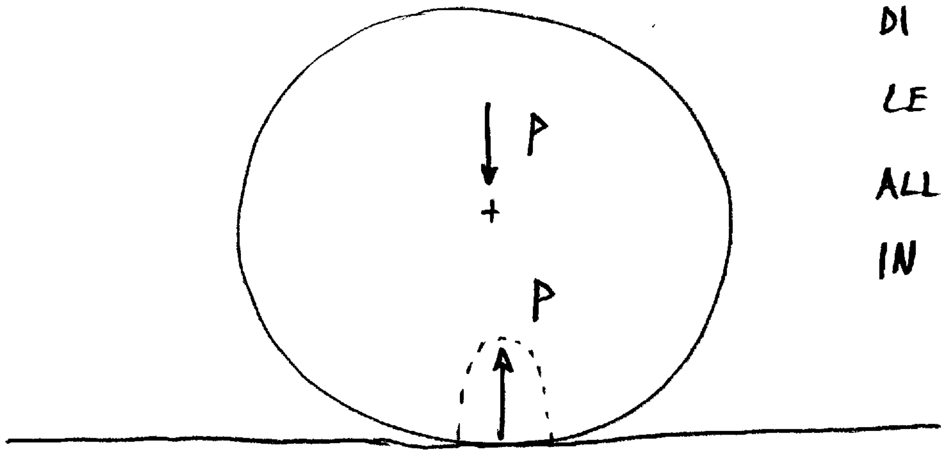
INTRODOTTA UNA MINIMA PERTURBAZIONE, SI HA ATTRITO DINAMICO:

$$a = \frac{g}{\cos\alpha}\,(\operatorname{tg}\alpha - f_d)$$

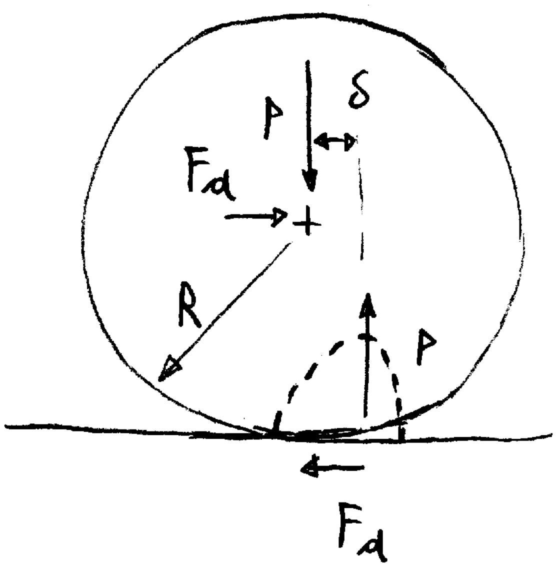
$$= \frac{g}{\cos\alpha}\,(f_a - f_d)$$

ATTRITO VOLVENTE

L'ATTRITO VOLVENTE O DI ROTOLAMENTO SI HA FRA RUOTA E SUOLO, OPPURE NEI CUSCINETTI VOLVENTI. SI OPPONE AL ROTOLAMENTO GENERANDO UN DISASSAMENTO DELLA REAZIONE VERTICALE A CUI SEGUE UNA FORZA DI ADERENZA



IN ASSENZA DI ROTOLAMENTO LE DUE P SONO ALLINEATE, QUINDI IN EQUILIBRIO



LA COPPIA $F_a R$ VA AD EQUILIBRARE $P\delta$

$$F_a = \frac{\delta}{R} P$$

IL RAPPORTO δ/R E' IL COEF. DI ATTRITO VOLVENTE

$$f_V = \delta/R$$

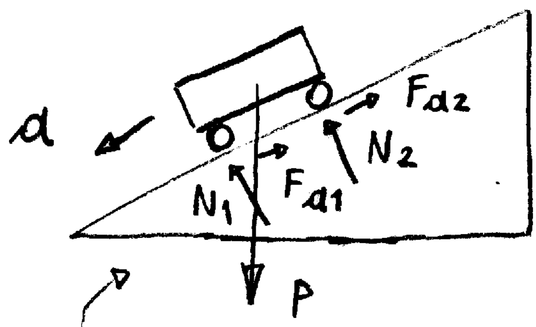
QUINDI $F_a = f_V P$

F_a E' UNA FORZA DI ADERENZA PERCHE' LA RUOTA RISPETTO AL SUOLO ROTOLA SENZA STRISCIARE

f_V E' MOLTO PICCOLO: $f_V = 0.001 - 0.002$

E OVVIAMENTE E' IL MOTIVO PER CUI SI PREFERISCE MUOVERE I MEZZI DI TRASPORTO SU RUOTA INVECE CHE A STRISCIAMENTO

ESEMPIO



SI TRASCURA
L'INERZIA A ROTAZIONE
(II CARDINALE)
DELLE RUOTE

$$a = \frac{P \sin\alpha - (N_1 + N_2) f_V}{m}$$

$$N_1 + N_2 = P \cos\alpha$$

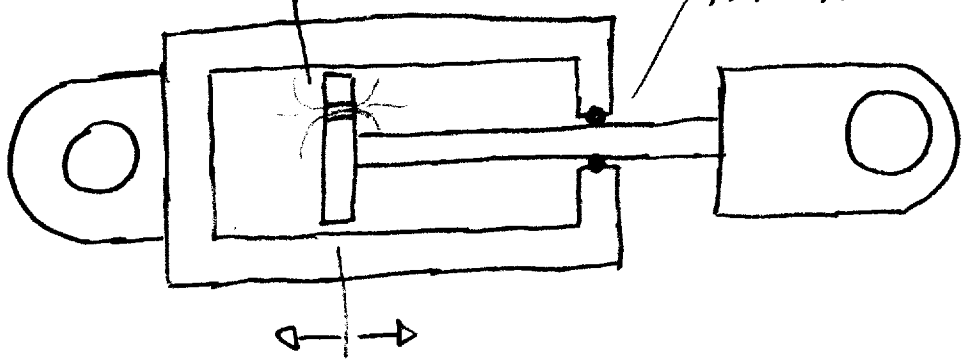
SOSTITUENDO:

$$a = g\,(\sin\alpha - \cos\alpha\, f_V)$$

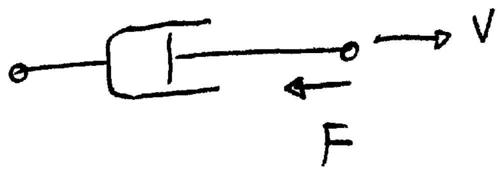
FORZA DI RESISTENZA VISCOSA
(APPLICAZIONE: DISSIPATORE VISCOSO, AMMORTIZZATORE)

SIMBOLO DEL MODELLO MECCANICO

IN EFFETTI SI TRATTA DI UN CILINDRO DIVISO IN DUE CAMERE DA UNO STANTUFFO (PISTONE) CON UNO O PIU' ORIFIZI:



MUOVENDO LO STANTUFFO IL FLUIDO (VISCOSO) DEVE ATTRAVERSARE L'ORIFIZIO, LA RESISTENZA E' PROPORZIONALE ALLA VELOCITA', OVVIAMENTE CON VERSO OPPOSTO

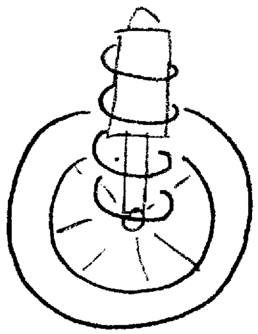


FORZA DI RESISTENZA VISCOSA:

$$\boxed{F = -cV}$$

ANCHE QUESTA E' UNA FORMA DI ATTRITO PERO' LEGATA ALLA VELOCITA', MENTRE NELL'ATTRITO DINAMICO E ANCHE VOLVENTE IL MODULO DELLA VEL. NON DETERMINA LA FORZA

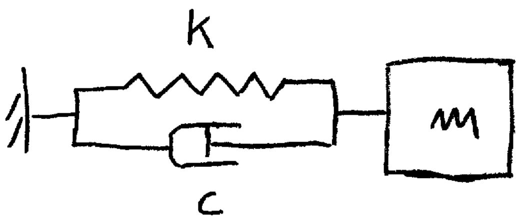
TIPICA APPLICAZIONE



SOSPENSIONE (MOLLA)
+
AMMORTIZZATORE

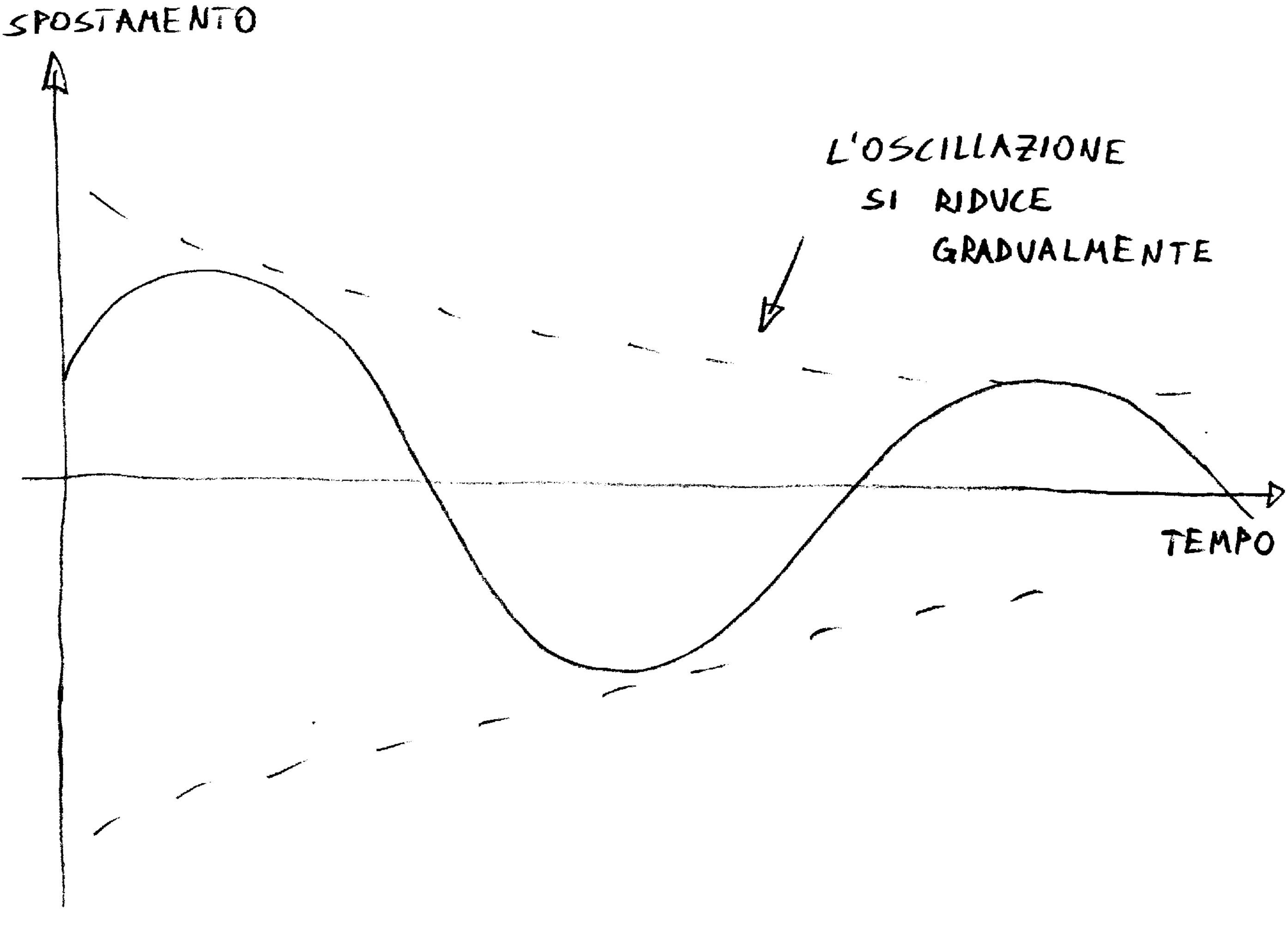
MODELLO MECCANICO EQUIVALENTE:

MASSA, RIGIDEZZA E SMORZATORE VISCOSO IN PARALLELO



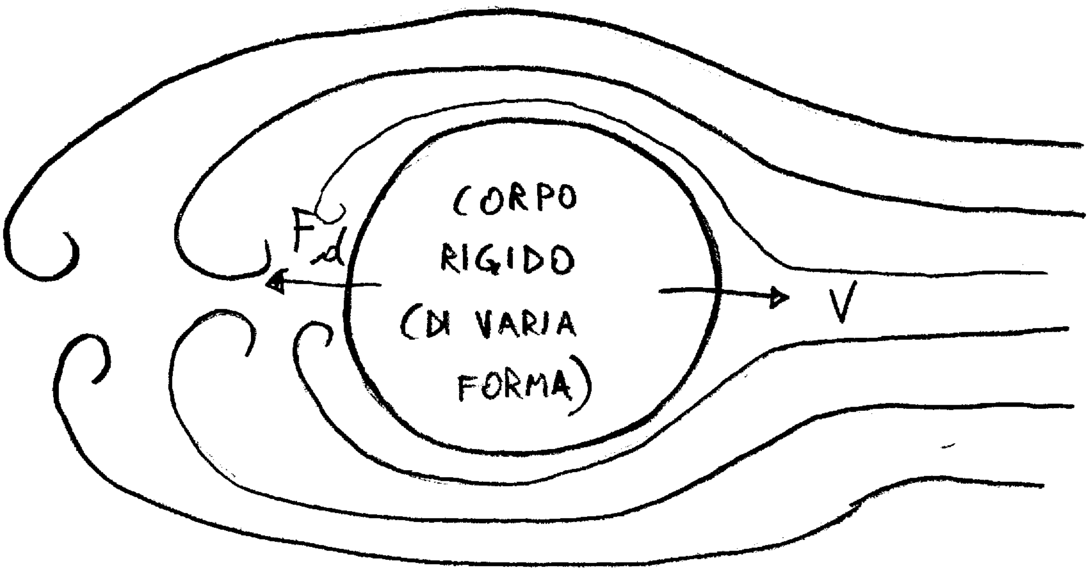
"MODELLO A PARAMETRI CONCENTRATI"

SCEGLIENDO OPPORTUNAMENTE IL VALORE DI C
SI OTTIENE IL MOTO ARMONICO SMORZATO



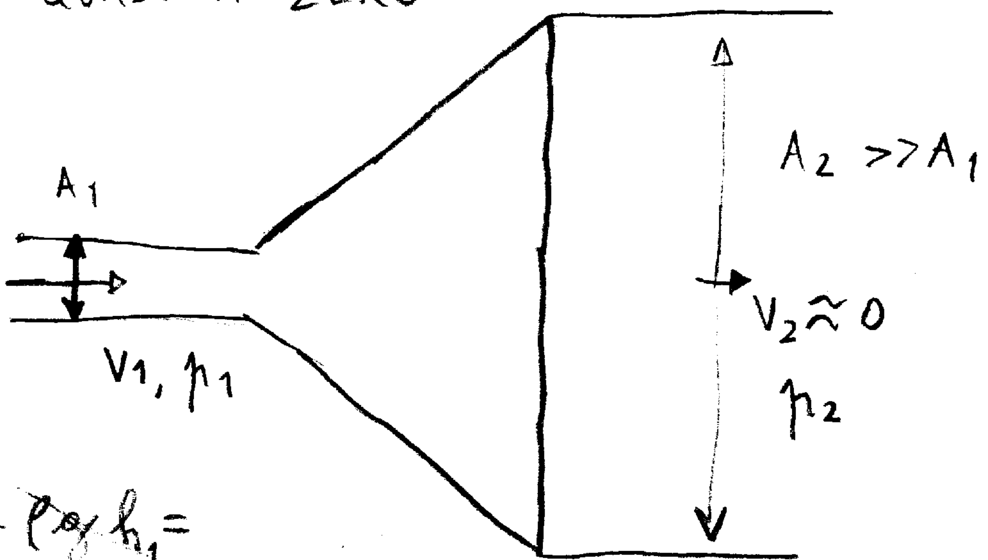
RESISTENZA FLUIDODINAMICA / AERODINAMICA

UN CORPO CHE SI MUOVE IN UN LIQUIDO O IN ARIA SUBISCE UNA RESISTENZA DAL FLUIDO STESSO



IN PRIMA APPROSSIMAZIONE LA FORZA DI RESISTENZA E' LEGATA AL QUADRATO DELLA VELOCITÀ, QUESTO DERIVA DA BERNOULLI:

CONSIDERANTO UN CONDOTTO FLUIDO (LIQUIDO) CON FORTE VARIAZIONE DI SEZIONE, QUINDI VELOCITÀ PORTATA QUASI A ZERO

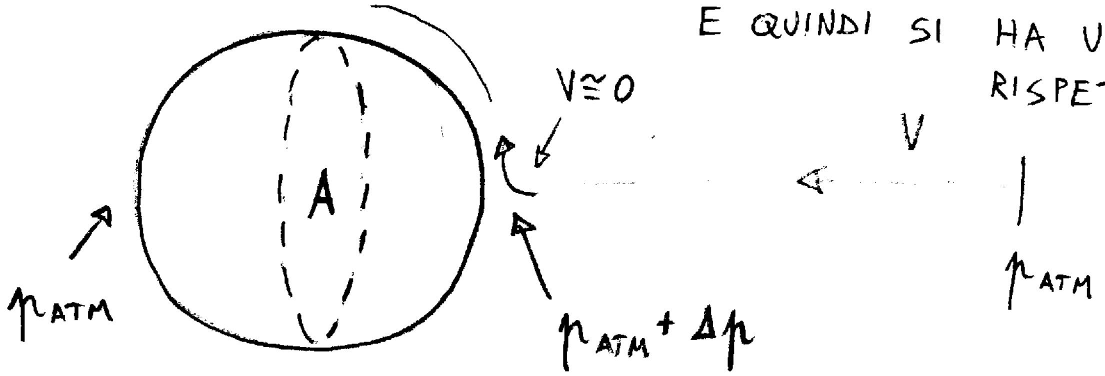


$$p_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} + \rho g h_1 = p_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} + \rho g h_2$$

QUINDI

$$\Delta p = p_2 - p_1 = \rho \frac{V_1^2}{2}$$

CONSIDERANDO IL MOTO DEL CORPO NEL FLUIDO, O MEGLIO IL MOTO DEL FLUIDO RISPETTO AL CORPO SI HA CHE IL FLUIDO VIENE "FERMATO" DAL CORPO E QUINDI SI HA UNA Δp RISPETTO ALLA PRESSIONE ATMOSFERICA



$$\Delta p = \rho \frac{V^2}{2}$$

LA FORZA QUINDI E' PRESSIONE PER AREA, ED INFINE SI INSERISCE UN COEFFICIENTE CORRETTIVO C_d

$$F_d = C_d \frac{1}{2} \rho V^2 A$$

DRAG DRAG AREA PROIETTATA

C_d A VOLTE VIENE INDICATO C_x, X RAPPRESENTA LA DIREZIONE DEL FLUSSO, ED ANCHA A E' L'AREA PROIETTATA SECONDO LA DIREZIONE DEL FLUSSO

IN QUESTO CASO LA FORZA E' PROPORZIONALE AL <u>QUADRATO</u> DELLA VELOCITÀ

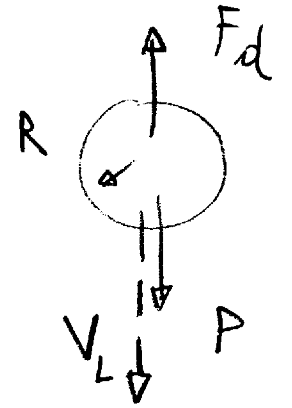
C_d HA COME VALORE DI RIFERIMENTO 1

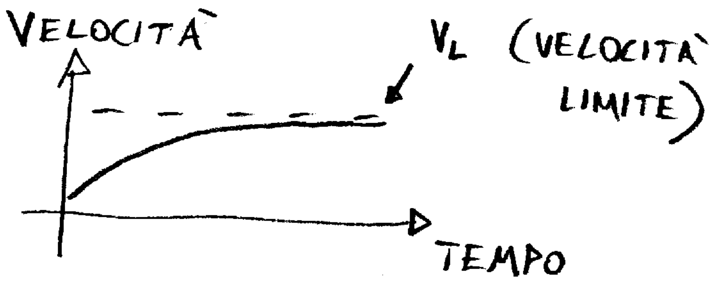
PER CORPI "TOZZI", ES UN CUBO, MENTRE PER CORPI AFFUSOLATI, AD ESEMPIO UN'ALA, SI PUÒ AVERE:

$C_d < 0.1$

L'APPLICAZIONE TIPICA E' DETERMINARE LA VELOCITÀ LIMITE IN UN FLUIDO

AD ESEMPIO UN PROIETTILE IN CADUTA, PER EFFETTO DEL PESO, ACCELERA FINO A TROVARE EQUILIBRIO FRA IL PESO STESSO E LA RESISTENZA DELL'ARIA





IMPONENDO L'EQUILIBRIO:

DENSITÀ DEL PIOMBO: 11300 Kg/m³

$$P = \rho_P V g \quad g \approx 9.81\ m/s^2$$

$$F_d = C_d \frac{1}{2} \rho_A V_L^2 A$$

C_d: SFERA ≈ 0.5

ρ_A: DENSITÀ ARIA: 1.2 Kg/m³

A: AREA SFERA (PROIEZIONE)

V: VOLUME SFERA

$$A = \pi R^2$$

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

IMPONENDO L'EQUILIBRIO

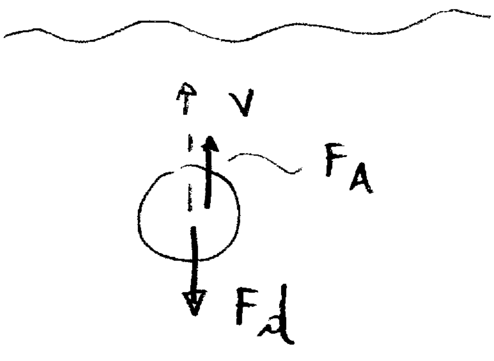
$$\rho_P \frac{4}{3}\pi R^3 g = C_d \frac{1}{2} \rho_A V_L^2 \pi R^2$$

$$V_L = \sqrt{\frac{8}{3} \frac{1}{C_d} \frac{\rho_P}{\rho_A} R g} = 44 \ m/s = 160 \ \frac{km}{h}$$

ES. $R = 4$ mm $\rightarrow$ 0.004 m

BOLLA D'ARIA

IN QUESTO CASO LA FORZA E' LA SPINTA DI ARCHIMEDE, VERSO L'ALTO, INVECE LA F_d VERSO IL BASSO



$$F_A = \rho_L V g$$

DENSITÀ LIQUIDO, ES. ACQUA

$$F_d = C_d \frac{1}{2} \rho_L V_L^2 A$$

SI OTTIENE:

$$V_L = \sqrt{\frac{8}{3} \frac{1}{C_d} \cancel{\frac{\rho_L}{\rho_L}} R g}$$

ES.: BOLLA DI 1 cm: $V_L = 0.72 \ m/s = 2.6 \ \frac{km}{h}$

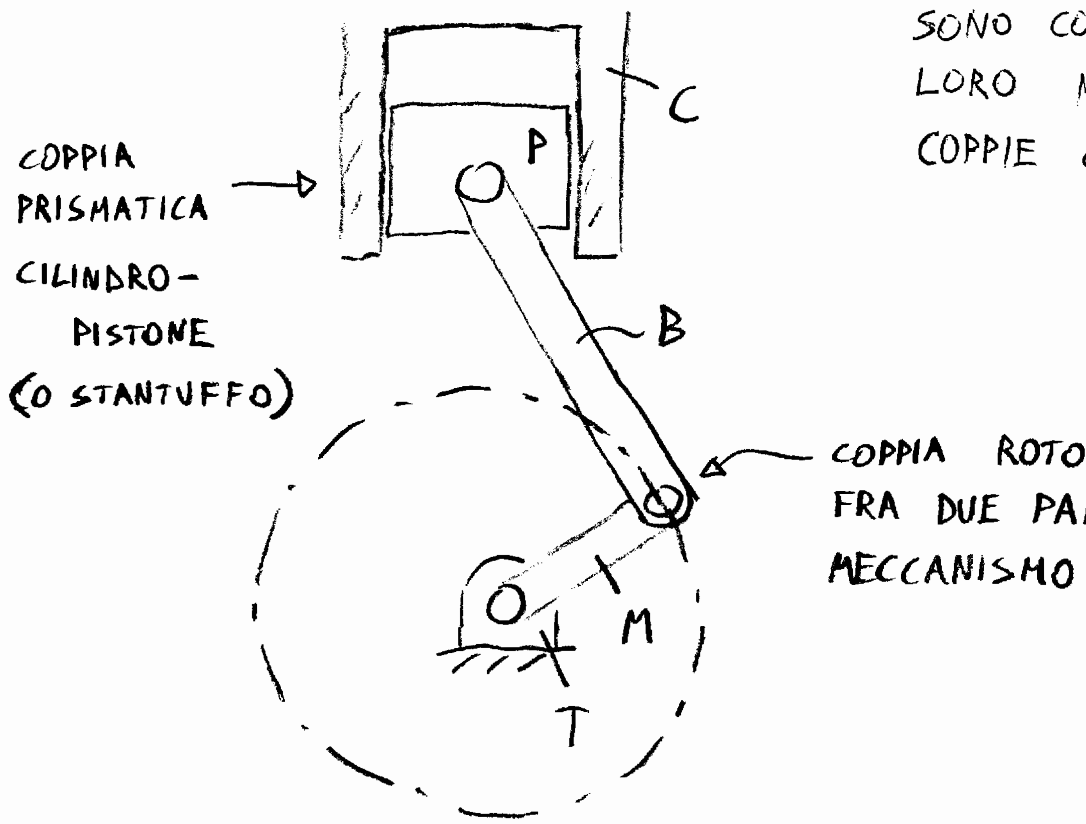
MECCANISMI: PIÙ CORPI CHE POSSONO MUOVERSI FRA LORO

IL MECCANISMO E' A SUA VOLTA UNA PARTE DI UNA MACCHINA

ESEMPIO DI MECCANISMO:

PISTONE, BIELLA E MANOVELLA

LE VARIE PARTI SONO COLLEGATE FRA LORO MEDIANTE COPPIE CINEMATICHE



ALCUNE PARTI SONO COLLEGATE CON PARTI ESTERNE AL MECCANISMO, A VOLTE INDICATE COME "TELAIO ESTERNO", IN QUESTO CASO: IL CILINDRO E IL FULCRO DELLA MANOVELLA SONO TELAIO ESTERNO

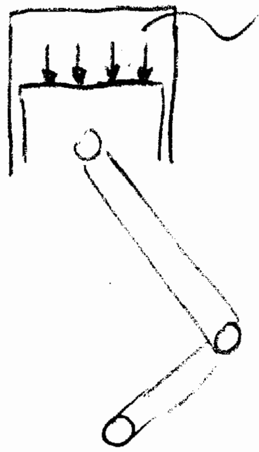
LE COPPIE CINEMATICHE, COME SCHEMI MECCANICI, SONO LA STESSA COSA DEI VINCOLI: LA COPPIA PRISMATICA E' IL CARRELLO, MENTRE LA COPPIA ROTOIDALE E' LA CERNIERA. L'INCASTRO INVECE NON HA UN EQUIVALENTE COME COPPIA CINEMATICA PERCHE' NON PERMETTE IL MOVIMENTO

NEI MECCANISMI E' DI FONDAMENTALE IMPORTANZA DETERMINARE LE FORZE CHE SI SCAMBIANO LE VARIE PARTI VINCOLATE FRA LORO

IN MOLTI CASI SI PUO' FARE LO STUDIO STATICO ANCHE SE APPROSSIMATO, QUESTO HA SENSO QUANDO LE ACCELERAZIONI SONO BASSE, O MEGLIO QUANDO LE FORZE APPARENTI SONO PICCOLE RISPETTO ALLE ALTRE FORZE

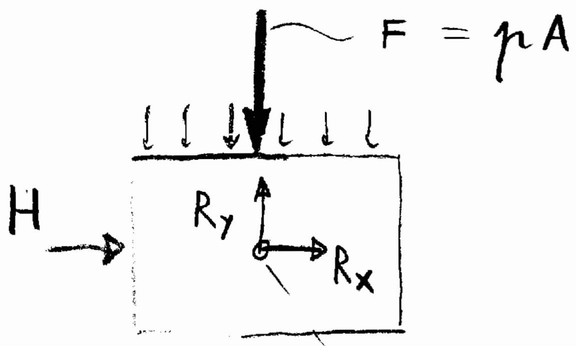
QUESTA APPROSSIMAZIONE CI PERMETTE DI IGNORARE LA DINAMICA E QUINDI IMPOSTARE SEMPRE UN EQUILIBRIO STATICO ANCHE SE I CORPI SUBISCONO ACCELERAZIONI

EQUILIBRIO (STATICO) DEL MECCANISMO
PISTONE, BIELLA E MANOVELLA



COME DATO DI PARTENZA SUPPONIAMO DI CONOSCERE LA p (PRESSIONE INTERNA AL CILINDRO)

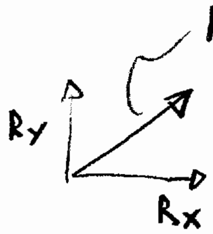
SI APPLICA L'EQ. STATICO AL CORPO PISTONE P:
TUTTE LE FORZE CHE AGISCONO SUL PISTONE DEVONO COSTITUIRE UN SISTEMA EQUILIBRATO



F E' LA RISULTANTE DELLA PRESSIONI CHE AGISCONO SULLA SUPERFICE DEL PISTONE
p E' NOTA
QUINDI F SI RICAVA FACILMENTE

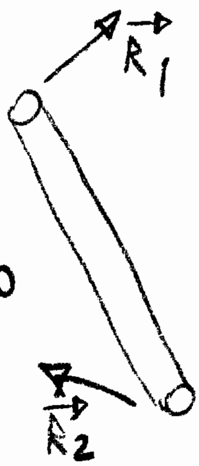
H E' LA FORZA ESERCITATA SUL PISTONE DAL CILINDRO, PER ADESSO E' UNA FORZA INCOGNITA,

PERO' HA DIREZIONE ORIZZONTALE QUINDI HA DIREZIONE NOTA, SOLO L'INTENSITA' E' INCOGNITA



LA FORZA $R = (R_x, R_y)$ INVECE E' INCOGNITA SIA COME DIREZIONE SIA COME INTENSITÀ, OPPURE SI PUÒ DIRE CHE SONO INCOGNITE ENTRAMBE LE SUE DUE COMPONENTI

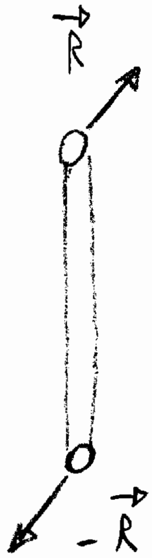
PER RIUSCIRE A RISOLVERE L'EQ. DEL PISTONE DOBBIAMO PRIMA OTTENERE L'INFORMAZIONE SULLA DIREZIONE DI R ANALIZZANDO LA BIELLA



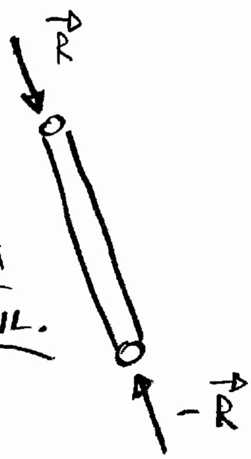
NO EQUILIBRIO

UNA BIELLA E' CORPO CHE E' CARICATO SOLO ALLE ESTREMITÀ DA 2 CERNIERE

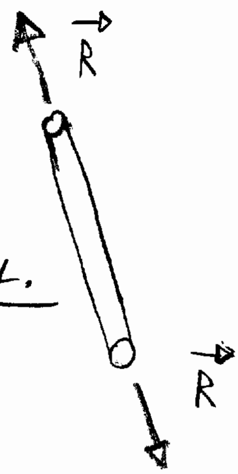
L'UNICO MODO PER AVERE EQUILIBRIO E' CHE LE 2 CERNIERE ESERCITINO 2 FORZE UGUALI ED OPPOSTE ED ALLINEATE (TRAZ. O COMPR.)



NO EQUILIBRIO



OK EQUIL.

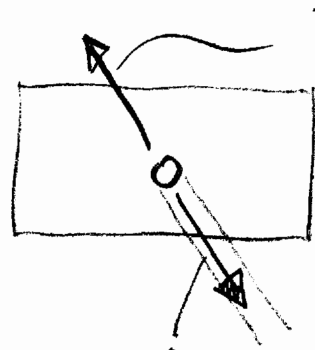


OK EQUIL.

PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE

NELLO STUDIO DEI MECCANISMI E' DI FONDAMENTALE IMPORTANZA RICORDARE CHE SE UN CORPO ESERCITA UNA FORZA SU DI UN'ALTRO L'ALTRO CORPO ESERCITA UNA FORZA UGUALE E CONTRARIA SUL PRIMO

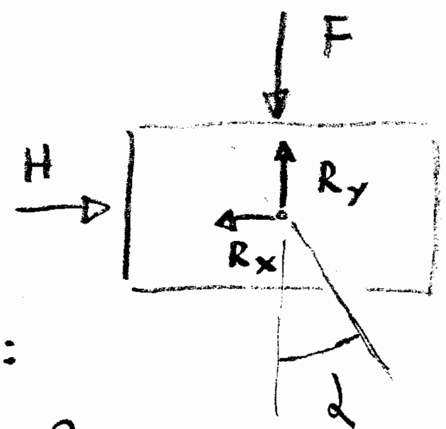
QUINDI: PISTONE – BIELLA



$\vec{R}$ (BIELLA → PISTONE)
AZIONE – REAZIONE

$-\vec{R}$ (PISTONE → BIELLA)
ALLINEATA CON LA DIREZ. DELLA BIELLA

ADESSO SI PUO' RISOLVERE L'EQ. DEL PISTONE:



$R_x = R \sin\alpha$

$R_y = R \cos\alpha$

EQUILIBRIO:

$H - R_x = 0$

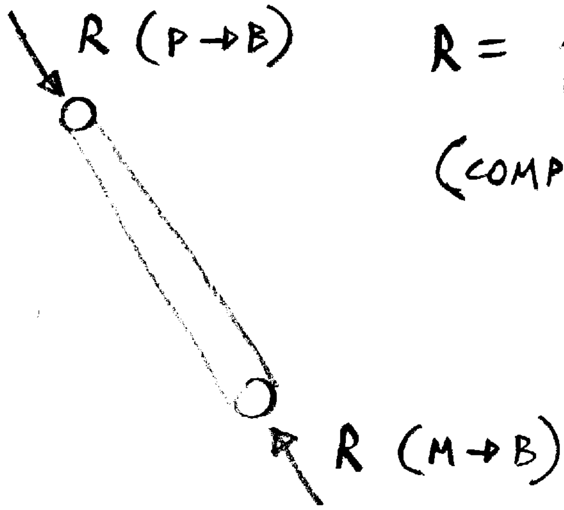
$-F + R_y = 0$ →

$R_y = F = pA$

$R = R_y/\cos\alpha = pA/\cos\alpha$

$H = R_x = R\sin\alpha = pA\,\mathrm{tg}\,\alpha$

EQ. BIELLA

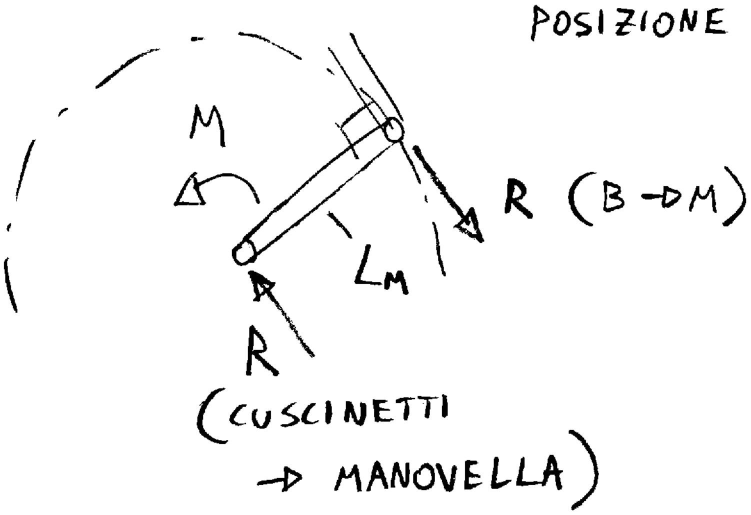


$$R = pA / \cos\alpha$$

(COMPRESSIONE)

EQ. MANOVELLA

PER SEMPLICITÀ CONSIDERIAMO LA POSIZIONE DI "QUADRATURA"

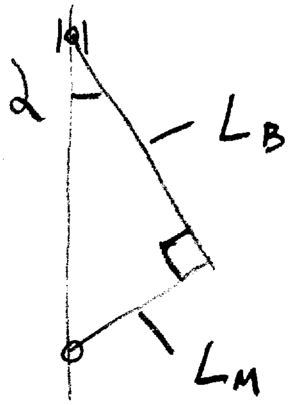


DI NUOVO PER L'EQUIL. (STATICO)

$$M = R\, L_M = \frac{pA}{\cos\alpha} L_M$$

M : MOMENTO ALBERO → MANOVELLA

NELLA POSIZIONE DI QUADRATURA:



$$\tan\alpha = \frac{L_M \text{ (LUNGH. MANOVELLA)}}{L_B \text{ (LUNGH. BIELLA)}}$$

↳ $\alpha = \arctan(L_M / L_B)$

ALTRE POSIZIONI ANGOLARI RICHIEDEREBBERO CALCOLI CON GLI ANGOLI PIÙ COMPLICATI...

ESEMPIO NUMERICO

d (CILINDRO) $= 30\ mm$

$p = 100\ bar$

$L_M = 50\ mm$

$L_B = 90\ mm$

$A = \frac{\pi}{4} d^2 = 707\ mm^2$

$F = p A = 7070\ N$

p: 10 MPa

$\alpha = \mathrm{arctg} \frac{L_M}{L_B} = 29.1°$

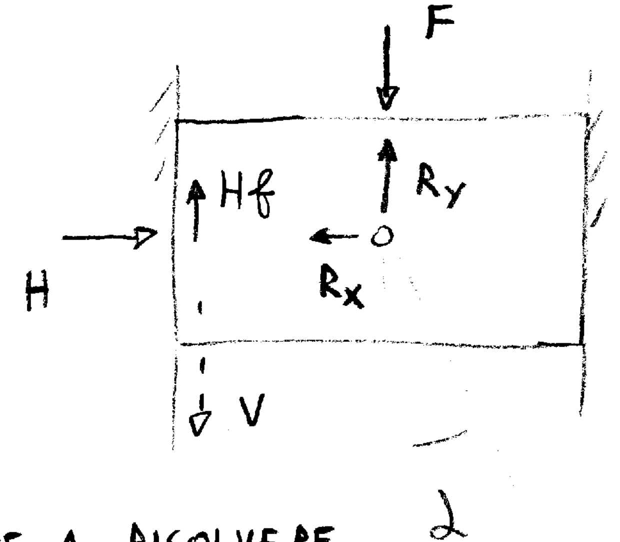
$R = F/\cos\alpha = 6180\ N$

$M = R L_M = 309\ N m$

— — —

VARIANTE CON ATTRITO

FORZA DI ATTRITO: Hf (ATTRITO DINAMICO)



$$\begin{cases} R_y - F + Hf = 0 \\ H - R_x = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_x = R \sin\alpha \\ R_y = R \cos\alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} R\cos\alpha - F + Hf = 0 \\ H - R\sin\alpha = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} H = R\sin\alpha \\ R(\cos\alpha + f\sin\alpha) = F \end{cases}$$

$$\begin{cases} R = \dfrac{F}{\cos\alpha + f\sin\alpha} \\ H = \dfrac{F\sin\alpha}{\cos\alpha + f\sin\alpha} \end{cases}$$

OLTRE A RISOLVERE IL SISTEMA, LA POSIZIONE DI H DEVE ESSERE PIÙ BASSA PER L'EQ. A MOMENTO

$Y_H = f D_P/2$