

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCIII.

1906

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XV.

1° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1906

Fisica tecnologica. — *Circa alle influenze della temperatura, delle vibrazioni, della umidità, dell'elettrolisi, e della untuosità, sull'adesione e sull'attrito nello sfregamento fra vari corpi, e sul lavoro di alcuni aratri; riassunto di appunti sperimentali.*
Nota del Socio ANTONIO PACINOTTI.

Con lo scopo di trovar modo di diminuire un poco il lavoro occorrente nella trazione di arnesi aratorii, ho fatto qualche misura di coefficienti di attrito e di adesione fra alcuni corpi, e specialmente fra il ferro ed alcune terre, cercando di riconoscere se tali coefficienti possano diminuirsi col fare intervenire circostanze convenienti. Ho anche alquanto cercato di misurare direttamente il volume del terreno lavorato da un aratro e da un coltro, ed il corrispondente lavoro meccanico occorso, tanto stando nelle ordinarie condizioni della lavorazione del terreno, quanto adottando influenze favorevoli alla diminuzione della trazione. Sebbene molto tuttora rimanga da fare sia per estendere le prove, sia per aumentarne l'accuratezza, tuttavia cerco di raccogliere succintamente diversi risultati conseguiti, e di presentarli come una prima approssimazione.

Un resoconto sufficientemente particolareggiato della massima parte delle prove fino ad ora fatte, si va stampando pel volume XXII delle Memorie della Società toscana di Scienze naturali; di tal resoconto presento all'Accademia una copia manoscritta, perchè in esso possono riscontrarsi parecchi particolari che per brevità tralascio in questo riassunto dei risultati principali ottenuti.

Nei capitoli 1, 3, 15 di quel resoconto sono riferite misure dell'angolo limite per lo scorrimento prodotto dal peso di una piccola slitta sopra un piccolo piano inclinato, alla temperatura ambiente ed alla alta temperatura generata dalla fiammella di un bruciatore di gaz posto sotto al piano inclinato; dalle quali misure in diversi casi sono conseguiti i valori del coefficiente d'attrito fra il piano inclinato e la slitta.

Dicendo P il peso della slitta, α la inclinazione con l'orizzonte del piano su cui appoggia, s la superficie del vero appoggio, f il coefficiente di attrito, λ il coefficiente di adesione; allorchè α sia il minimo angolo mantenente la discesa sul piano inclinato; si ha $fP \cos \alpha + \lambda s = P \sin \alpha$ e posson bastare due prove, nelle quali si sappia che f e λ rimangono invariati e P ed s abbiano valori ben conosciuti non del tutto uguali nelle due prove, per conseguire due relazioni che assegnino separatamente il valore di f e quello di λ .

Se si adopra una medesima slitta differentemente carica nelle due prove, e che la slitta ed il piano inclinato siano sufficientemente rigidi in modo da poter considerare invariata la estensione s del vero appoggio della slitta

sul piano di scorrimento, qualora nelle due prove si consegua lo stesso valore α dell'angolo limite di scorrimento, si può ritenere essere $\lambda = 0$ ed $f = \tan \alpha$. Allora l'angolo α si dice angolo limite di attrito.

Dalle misure dell'angolo limite di attrito sono risultati, in diversi casi, a temperature elevate coefficienti di attrito più grandi che a bassa temperatura; giacchè si è avuto:

Pel ferro limato scorrevole sulla superficie divenuta violetta dell'acciaio
alla temperatura bassa dell'ambiente $f = \tan 13^{\circ}30' = 0,2400$;
ed a circa 390° , $f = \tan 23^{\circ}10' = 0,4279$.

Per l'ottone non lucente sulla superficie divenuta violetta dell'acciaio
alla temperatura ambiente $f = \tan 19^{\circ}30' = 0,3541$;
ed a circa 390° , $f = \tan 23^{\circ} = 0,4245$.

Pel platino sopra il platino
alla temperatura ambiente di 11° , $f = \tan 18^{\circ} = 0,3249$;
ed a circa 165° , $f = \tan 23^{\circ}30' = 0,4348$.

Per una terra sciolta secca, sulla superficie leggermente ossidata dell'acciaio
alla temperatura ambiente, $f = \tan 29^{\circ} = 0,5543$;
e verso 390° , $f = \tan 31^{\circ} = 0,6008$.

Per terra argilla asciutta sull'acciaio abbrunito da leggera ossidazione
alla temperatura ambiente $f = \tan 21^{\circ} = 0,3838$;
ed a circa 390° , $f = \tan 30^{\circ}30' = 0,5891$.

Avvertiamo che nel caso del ferro a temperatura molto elevata esposto all'aria, si ha aumento di ossidazione al quale è attribuibile l'aumento dell'attrito.

Ma per i corpi che rimangono inalterati si può considerare come regola generale che l'attrito diminuisca coll'aumentare della temperatura. con alluminio sopra alluminio a 131° ho ottenuto $f = \tan 25^{\circ}15' = 0,4716$ e dopo il lento ritorno alla temperatura ambiente 11° , $f = \tan 28^{\circ}45' = 0,5486$.

Il cristallo sopra cristallo ha somministrato
alla temperatura 11° , $f = \tan 14^{\circ} = 0,2493$;
ed a 125° circa, $f = \tan 8^{\circ}20' = 0,1465$.

Il platino sul cristallo pure ha somministrato
alla temperatura 11° , $f = \tan 12^{\circ} = 0,2125$;
ed a 125° circa, $f = \tan 8^{\circ}20' = 0,1465$.

Il cristallo finamente spulito sopra cristallo finamente spulito ha dato
alla temperatura 9° circa $f = \tan 19^{\circ}30' = 0,3541$;
e con 125° circa, $f = \tan 14^{\circ}30' = 0,2586$.

Mica sopra mica in lamine trasparenti non colorate
a 9° circa $f = \tan 19^{\circ}35' = 0,3558$;
ed a 125° circa, $f = \tan 13^{\circ} = 0,2308$.

Per non riconoscere la diminuzione dell'attrito con l'aumentare della temperatura se si volesse sottilizzare, potremmo nel caso dell'alluminio avvertire che il leggerissimo strato di ossidazione prodotto dall'innalzamento di temperatura darà luogo ad un poco di adesione, e non resterà rigido durante lo scorrimento; e nel caso del cristallo si potrebbe dubitare che la maggior resistenza allo scorrimento ottenuta a bassa temperatura, quando il fornello era spento, fosse da attribuirsi ad attrazione elettrica fra una carica per lo sfregamento presa dalla capsulina che faceva da slitta, ed una carica di nome contrario lasciata sul camino percorso sul cristallo; avvertendo che tali cariche non si produrranno quando, acceso il fornello, la lastretta di cristallo è lambita dai gaz caldi della combustione, e tenuta da essi in comunicazione col suolo. Ma queste sottigliezze non valgono a sufficienza. Ho avvicinato al piatto di un elettroscopio a foglie d'oro la lastretta di cristallo, e non solo la ho trovata scarica quando era calda e da poco stata lambita dai prodotti della fiamma; ma anche quando essendo alla temperatura ambiente la avevo appositamente, molto ripetutamente, sfregata con la capsulina di platino, o con quella di cristallo. E l'elettroscopio adoprato era assai sensibile, giacchè una bacchetta di cristallo sfregata fortemente con pannello ed avvicinata ad esso, ne faceva divergere le fogliette enormemente.

Del resto, son tornato recentemente a guardare l'angolo limite d'attrito fra la piccola slitta di ferro ed il piccolo piano inclinato di acciaio a varie temperature, con l'avvertenza di non spingere l'innalzamento di temperatura oltre ai 100° onde non avvenga sensibile ossidazione; e fino a tal limite, ho visto che l'attrito diminuisce col crescere della temperatura, e quando le superficie di ferro e acciaio sono metalliche, e quando sono rivestite di ossidazione che le rende violette.

Soltanto il platino sembra fare eccezione alla regola; ma quando anche ciò si confermasse, non vi sarebbe incompatibilità nel crescere l'attrito col crescere della temperatura se lo sfregamento avviene fra platino e platino, ed invece decrescere se lo sfregamento avviene sul cristallo; soltanto questa diversa influenza delle vibrazioni calorifiche nella modificazione che l'aumento della loro ampiezza apporta sulla resistenza di attrito, può far pensare che si producano con lunghezze d'onda estremamente piccole vibrazioni concordanti nel cristallo, ed invece fra loro discordanti fra platino e platino.

Si può vedere qualche influenza alquanto analoga delle vibrazioni acustiche sull'attrito. Sopra una lastra sonora di ottone, avvitata sul centro ad una colonnetta di un lungo banchetto che porta similmente altre cinque lastre, ho posato un piccolo parallelepipedo di legno; e sottoponendo ad una estremità del banchetto un sostegno inalzabile, ho trovato occorrere prossimamente l'angolo 35°30' fra la lastra e l'orizzonte per ottenere che continuasse la discesa del pezzetto di legno sulla lastra allorchè veniva un poco smosso in discesa. La superficie della lastra è leggermente ossidata; la sua forma

è quadrata con 20 centimetri di lato, e con grossezza poco minore a due millimetri. Il parallelepipedo di legno pesa 4 grammi; è lungo centimetri 3,1, largo 1,6, alto 1,2; esso non parte da sè in discesa sebbene la lastra sia inclinata a $35^{\circ}30'$, quando la lastra è in quiete: ma se con l'archetto di crini si sfrega leggermente uno spigolo della lastra in modo da farla un poco suonare, avviene la discesa rapida del pezzetto di legno.

Ho abbassato il sostegno in modo che l'inclinazione della lastra con l'orizzonte era ridotta a 20° , ed era di gran lunga insufficiente a mantenere la discesa del prismetto di legno anche dopo il di lui smovimento. Il prismetto di legno essendo posto presso il canto diagonalmente opposto alla punta della lastra che fra l'indice ed il pollice della mano sinistra stringevo onde facilitare la formazione delle linee nodali diagonali; quando ho attaccato con l'archetto il mezzo del lato in modo che corrispondentemente alle linee nodali diagonali, la lastra suonasse il sol₃, avveniva decisamente la discesa del prismetto. Ma se appoggiando sul lembo della lastra le dita indice e medio della sinistra sfregavo con l'archetto fra esse interposto, in modo che la lastra anche intensamente producesse un suono acuto corrispondente a piccoli compartimenti vibranti, il prismetto di legno trovava subito qualche luogo da cui non discendeva, dove copriva due compartimenti di inversa fase.

Analoghi risultati si ottengono con soli due gradi di inclinazione, e specialmente con lastre più grosse.

Per esprimere come le vibrazioni calorifiche discordanti possano aumentare l'attrito, ed invece le vibrazioni calorifiche concordanti lo possano diminuire; avverto che l'appoggio della slitta in ogni caso si fa sopra un gran numero di minimi compartimenti vibranti, e che se le vibrazioni si suppongono discordanti nell'insieme non risulta da esse una impulsione sulla slitta, ma soltanto per l'innalzamento di temperatura le superficie d'appoggio divengono più scabrose di scabrosità minime varianti che possono accrescerne gli addentellamenti particellari e l'attrito; mentre invece se le vibrazioni calorifiche si suppongono concordanti, in modo che due compartimenti contigui posti ai due lati di una medesima linea nodale siano in opposizione di fase, non solo contemporaneamente alcuni compartimenti presenteranno il massimo di avvallamento ed altrettanti il massimo di rilievo, ma anche contemporaneamente torneranno tutti insieme a ricostituire la superficie nella sua posizione di equilibrio; e da tal posizione di equilibrio durante il tempo di mezza vibrazione semplice la slitta verrà spinta in fuori normalmente alla superficie, a disimpegnare le sue rugosità, talmente che l'attrito ne risulterà diminuito.

Nello sfregamento del ferro dell'aratro con la terra alquanto umida non è trascurabile la adesione, e per apprezzarne il coefficiente separatamente dal coefficiente d'attrito, bisognerebbe anche osservare e misurare precisamente la estensione s della superficie veramente appoggiata ed aderente della slitta; cosa non sempre tanto facile, e che per ora nelle prove fatte col metodo

del piano inclinato non ho nemmeno approssimativamente realizzato. Tuttavia la misura dell'angolo limite di scorrimento α , e del peso P della slitta fa conoscere la resistenza complessiva risultante dalla adesione e dallo attrito $P \operatorname{sen} \alpha$, e non è inutile lo apprezzare come questa varia col variare della temperatura.

Per la terra sciolta un poco umida trovai come angolo limite sull'acciaio leggermente spontaneamente ossidato, alla temperatura ambiente l'angolo di 41 gradi, ed invece verso 390° ebbi $28^\circ 39'$. E giacchè $\frac{\operatorname{sen} 28^\circ 30'}{\operatorname{sen} 41^\circ} = 0,7273$, pel riscaldamento la resistenza complessiva era ridotta a circa tre quarti.

Per un parallelepipedo di argilla un poco umida, pesante $P = 0^k,026$ con circa il 12 per cento in peso di acqua facilmente evaporabile, la cui faccia rivolta contro l'acciaio misurava centimetri quadrati 9,88, ebbi alla temperatura ambiente come angolo limite 71° , e portata la lastretta d'acciaio verso 390° la discesa del parallelepipedo fumante avvenne colla inclinazione di soli 12 gradi; e giacchè $\frac{\operatorname{sen} 12^\circ}{\operatorname{sen} 71^\circ} = 0,22$ pel riscaldamento a circa 390° la resistenza complessiva atteso lo sprigionarsi del vapor d'acqua fra l'acciaio caldo ed il prismetto di argilla umida era ridotta a meno di un quarto.

Sulla lastretta calda avendo lasciato asciugare il parallelepipedo di argilla, l'angolo limite ad alta temperatura è salito a $30^\circ 30'$; e considerando come nulla la adesione della argilla secca contro l'acciaio caldo, si può considerare come coefficiente d'attrito fra questi corpi ad alta temperatura $f = \operatorname{tang} 30^\circ 30' = 0,5891$. Siccome i punti veramente sfreganti della argilla sulla lastra calda saranno divenuti quasi subito asciutti, si può ammettere che anche mentre fumava e scorreva con $\alpha = 12^\circ$ il prismetto avesse per coefficiente d'attrito $f = 0,5891$, e si può valutare la forza F che il vapore faceva contro tutta la faccia del prismetto sotto la quale si sviluppava con l'avvertire che tal forza diminuiva la pressione $P \cos \alpha$ che sarebbe stata data dal peso, e che la adesione si poteva supporre nulla, in modo che si avesse la relazione $(P \cos \alpha - F) f = P \operatorname{sen} \alpha$ dalla quale si ricava $F = \frac{f P \cos \alpha - P \operatorname{sen} \alpha}{f}$. Nella quale espressione ponendo i valori numerici del caso riferito, si ottiene $F = 0^k,01625$ sopra tutti i 9,88 centimetri quadrati della faccia appoggiata del prismetto; ossia in media sopra ciascun centimetro quadrato grammi 1,645. E tenendo 13,59 grammi come peso di un centimetro cubico di mercurio, l'eccesso della pressione del vapore che si produceva sotto il prismetto sulla pressione atmosferica, avrebbe eguagliato la pressione data da una colonna di mercurio alta $1,645:13,59 = 0,12$ centimetri; ossia 1,2 millimetri.

La resistenza allo sfregamento del marmo sul marmo, che si trovava cresciuta dopo di aver riscaldato il marmo oltre 200° e di averlo lasciato

tornare lentamente alla temperatura ambiente, e che durante il raffreddamento andava crescendo col diminuire della temperatura, potrebbe supporre influenzata da incipiente decomposizione chimica sulle superficie sfreganti e calde. Lo sviluppo di acido carbonico non avrebbe dovuto produrre sotto la slitta di marmo quasi a 100° nella prova considerata che l'aumento di pressione misurato da 2,2 millimetri di colonna di mercurio.

Come è riferito nel capitolo 4 della relazione, per procedere più speditamente nel riconoscimento delle resistenze allo scorrimento, presi a misurarle mediante la indicazione di un piccolo dinamometro con il quale tiravo orizzontalmente il prismetto di argilla posato sopra una lastra orizzontale di ferro o d'acciaio.

Dicendo R la trazione in chilogrammi indicata dal dinamometro, P il peso in chilogrammi della slitta compresa la carica sopra di essa aggiunta, S la superficie in metri quadrati della faccia d'appoggio, ed ε la frazione di tal superficie che veramente appoggia nello scorrimento ed aderisce; dicendo λ il coefficiente di adesione, ed f il coefficiente d'attrito si ha

$$Pf + S\varepsilon\lambda = R.$$

Cosicchè con due o più prove nelle quali f e λ restino invariati, e le altre quantità siano ben conosciute e diano coefficienti di f e λ non in tutte le prove i medesimi, si posson valutare i valori di f e di λ .

Per qualche prova nella quale non era stato osservato il valore di ε , ho tentato di considerare $\varepsilon\lambda$ come coefficiente di adesione apparente su tutta la superficie S ; ma qui non riporto i coefficienti apparenti di adesione e di attrito per pressioni crescenti considerati nei capitoli 4 e 5 per l'argilla specialmente se alquanto plastica per l'umidità, perchè sono teoricamente inesatti, sebbene possano praticamente servire a rappresentare e talora a valutare approssimativamente la resistenza complessiva incontrata dalla argilla nello sfregamento.

Nel § 13 onde evitare, per quanto è possibile, che per la plasticità della argilla la estensione della superficie in contatto crescesse nelle prove successive, e poterne apprezzare approssimativamente il valore dalla ispezione della parte divenuta lustrata sulla faccia d'appoggio, ho incominciato con la maggiore delle cariche nella prima prova; e siccome il velo argilloso lasciato nello sfregamento sulla superficie dell'acciaio accresce fino ad un certo limite la adesione, ho ripetuto i passaggi del prismetto d'argilla un poco plastica sullo acciaio fino a conseguire che la trazione più non cambiasse sensibilmente; e tenendo conto soltanto delle trazioni occorrenti per lo scorrimento della argilla sul velo argilloso già formato, ho cercato di avvicinarmi al riconoscimento dei coefficienti assoluti di attrito e di adesione

nelle condizioni che si produrranno ordinariamente nella coltratura di terreno molto argilloso dotato di circa il 17 per cento di acqua spontaneamente evaporabile, ottenendo

$$f = 0,4992 \text{ con } \lambda = 1344,7 \text{ chilogrammi per metro quadrato.}$$

Nel § 12 il prismetto trascinato sulla lastra d'acciaio netta lucente essendo di argilla secca, sfrega su pochi piccoli appoggi che dopo molti passaggi si son coperti di ossido di ferro dando luogo ad $f_0 = 0,567$ con $\lambda_0 = 1377$ quando il prismetto non vibra; perchè vibrando andrebbe con trazioni assai minori.

Nel § 9. Dalla faccia d'appoggio del prismetto d'argilla un poco umida di circa 7 centimetri quadrati di superficie passava alla lastra d'acciaio una corrente elettrica di circa un decimo di ampère, e per l'acqua alcalina che essa portava sulla lastra d'acciaio era molto diminuita la resistenza allo scorrimento, e si aveva $f' = 0,1666$ con $\lambda' = 17,5$.

Nel § 11. Per l'aggiunta di acqua sulla superficie dello acciaio pulita, l'argilla vi ha mostrato i coefficienti $f_1 = 0,3333$ con $\lambda_1 = 32,9$. E se l'acqua aggiunta sulla lastra d'acciaio pulita conteneva il 10 per cento di potassa si aveva $f'' = 0,0666$ con $\lambda'' = 119,2$.

Nel § 14. Sull'acciaio pulito reso leggerissimamente untuoso con minima quantità d'olio d'oliva riasciugato con tela pulita, la argilla un poco umida scorre assai facilmente, e somministra $f_u = 0,2294$ con $\lambda_u = 205,7$.

§§ 2, 10. Ad un piccolo aratro in ferro conosciuto con la denominazione Sack da vigne corpo C, ho costruito nell'interno un fornello, nel quale può avvenire combustione di carbone che riscalda tutto il corpo di aratro. Tale aratro con la interposizione di un dinamometro venendo tirato da due uomini mediante un argano ad assolcare terra sciolta ed umida, richiede, allorchè il suo fornello era acceso, soltanto quattro quinti del lavoro che a parità di solco occorsegli quando il suo fornello era spento.

§ 10. La corrente elettrica stradale passava con piccola intensità andando dalla terra sciolta al piccolo aratro, sebbene la terra fosse umida; tuttavia si conseguiva a parità di volume scavato nel solco, il risparmio di quasi un decimo del lavoro occorso senza l'azione elettrolitica.

§ 16. La terra sciolta che veniva solcata essendo troppo poco umida, pochissima untuosità stesa sulle guance dell'aratro non produsse che il cinque per cento di risparmio sul lavoro da esso richiesto; ed anche dopo l'aggiunta del riscaldamento, il risparmio del lavoro non superò il dodici per cento.

§§ 6, 7, 8. Un coltro Mélotte n. 2 nel quale è stato costruito un fornello interno per poterne scaldare l'orecchione ed alquanto il vomere, a parità di volume lavorato in terreno argilloso umido un poco più del consueto,

richiese dai bovi allorchè il suo fornello era acceso soltanto tre quarti del lavoro che occorre gli quando il suo fornello era spento; ma il vantaggio prodotto dal riscaldamento del coltro diminuì assai col diminuire della umidità del terreno.

§ 16. In terreno argilloso, contenente il 17 per cento in peso di acqua spontaneamente evaporabile, un pocolino di untuosità distesa su tutta la superficie sfregante del coltro ha prodotto il risparmio di oltre un quarto del lavoro senza di essa occorso, a parità di volume di terreno coltrato. La piccola spesa per la poca untuosità produrrebbe anche diminuzione nel logoramento del coltro.

Cristallografia. — La trasformazione delle coordinate dei cristalli. Nota del Corrispondente C. VIOLA.

Il problema della trasformazione delle coordinate non trova spesso applicazione in cristallografia, perchè l'orientamento dei cristalli durante la misura e lo studio di centinaia di individui offre già da sè il sistema di coordinate più indicato. La trasformazione delle coordinate è nondimeno talvolta necessaria; ed è indispensabile quando si voglia aggruppare i cristalli delle varie simmetrie in una unica figura fondamentale (Grundgestalt). È noto che il problema della trasformazione delle coordinate è ormai esaurito in seguito a vari lavori originali, come quelli di A. T. Kupffer 1826, W. H. Miller 1839, C. Fr. Naumann 1856, Q. Sella 1857, Th. Liebisch 1881, R. Panebianco, G. La Valle ecc., e che perciò poco o nulla rimane a dirne di nuovo. Ma il presente problema è suscettibile di ricevere più luce e semplicità; ciò si vuol dimostrare in questa Nota.

Sono date tre faccie del cristallo, figura annessa, che vogliamo denominare con h' , h'' , h''' , i cui simboli nel vecchio sistema delle coordinate siano rispettivamente $(h'_1 h'_2 h'_3)$, $(h''_1 h''_2 h''_3)$, $(h'''_1 h'''_2 h'''_3)$. Con queste tre faccie sono date anche le tre zone r_1, r_2, r_3 , le quali esse determinano; e cioè r_1 la zona della coppia di faccie $h'' h'''$, r_2 della coppia $h''' h'$ ed r_3 della coppia $h' h''$. Siano $[r'_1 r'_1 r'_1]$, $[r'_2 r'_2 r'_2]$, $[r'_3 r'_3 r'_3]$ i rispettivi simboli delle dette tre zone in rispetto al vecchio sistema delle coordinate, e determinati con le regole note.

Il problema di cui qui si tratta è questo: il vecchio sistema delle coordinate rispetto al quale si trova riferito il cristallo, ha da essere trasformato in un nuovo, le cui faccie fondamentali sono h' , h'' , h''' . Allora i nuovi assi del cristallo saranno quelli delle tre zone r_1, r_2, r_3 , e le faccie del cristallo acquistano nuovi simboli. E, per esempio, quale simbolo riceverà nel nuovo sistema la faccia x , il cui simbolo nel vecchio sistema è dato ed è $(x_1 x_2 x_3)$?