

Secondo Principio della Termodinamica

Introduzione

Lo scopo dell'esperienza di laboratorio proposta nel video è quello di ricavare attraverso delle prove sperimentali e delle deduzioni teoriche le condizioni per avere trasformazioni REVERSIBILI.

Una trasformazione è reversibile quando:

- Si svolge quasi-staticamente
- Non è accompagnata da effetti dissipativi (per esempio attriti)

In altre parole se si esegue una trasformazione quasi-statica cioè il sistema passa lentamente da uno stato all'altro, abbiamo un passaggio per stati di equilibrio termodinamico che possono essere attraversati in entrambi i versi.

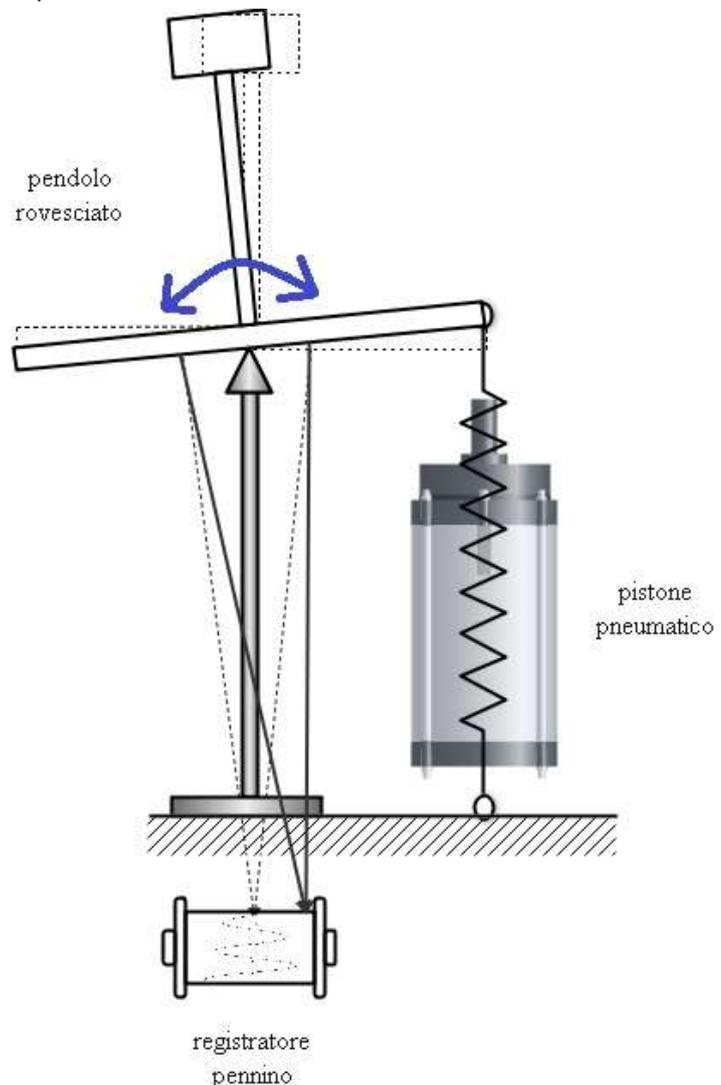
Un sistema fisico che consente di avvicinarsi ad un processo quasi statico è un sistema con oscillazioni lunghe e smorzamento che tende a zero come quello rappresentato in figura in cui il sistema oscillante è composto da un pendolo rovesciato e un cilindro pneumatico con aria che viene compressa ed espansa (comportamento di tipo elastico come una molla).

L'esperienza dimostra che in natura non è possibile soddisfare rigorosamente queste due condizioni, per cui tutte le trasformazioni che hanno luogo in natura sono IRREVERSIBILI in accordo al Secondo Principio della Termodinamica.

L'esperienza di laboratorio introduce inoltre il concetto di ENTROPIA, ovvero ogni processo spontaneo è accompagnato da un incremento di entropia e che l'entropia tende a zero per i processi che tendono alle condizioni di reversibilità. La grandezza entropia è vista anche come concetto statistico-probabilistico e questo approccio permette di descrivere il Secondo Principio della Termodinamica da una diversa prospettiva

Il filmato appartiene alla collezione di 25 film appartenenti all'opera *La fisica secondo il Physical Science Study Committee (PSSC)* pubblicata nel 1961

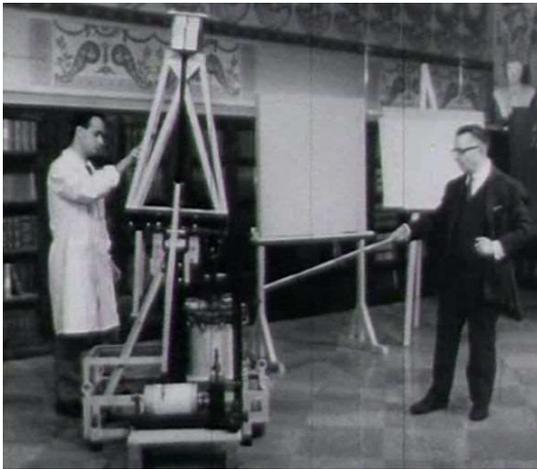
Il PSSC è stato un comitato scientifico istituito presso il Massachusetts Institute of Technology di Boston nel 1956 con lo scopo di supportare l'insegnamento della fisica nella scuola secondaria superiore



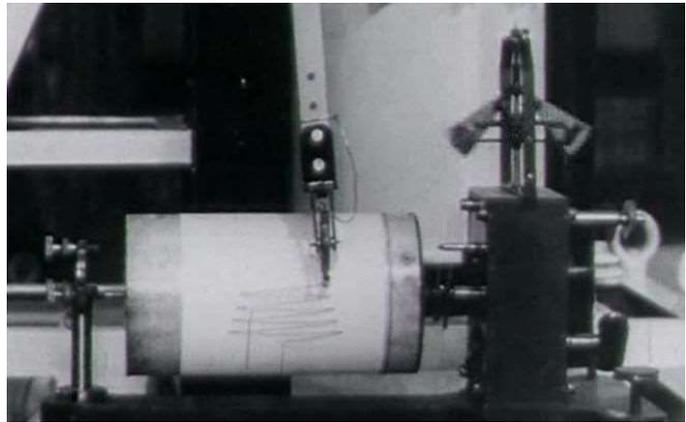
Elenco dei Materiali e degli Strumenti impiegati

Elenco dei materiali usati :

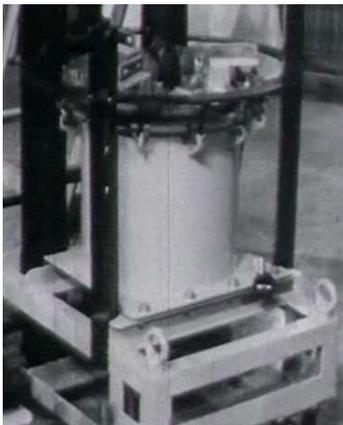
Pendolo rovesciato



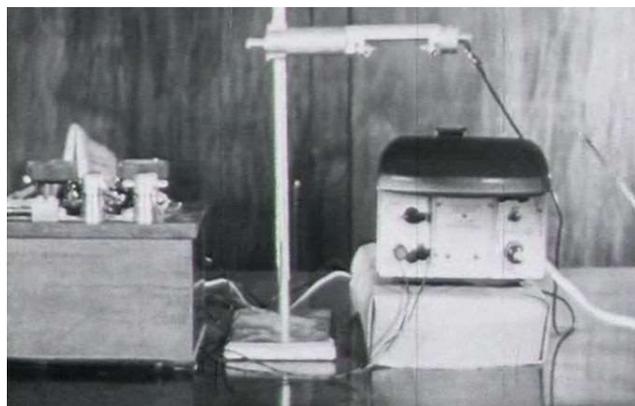
Registratore con pennino



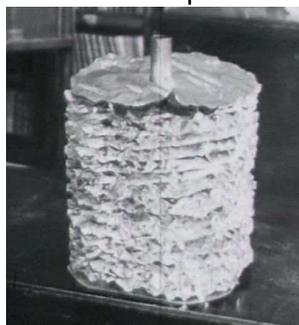
Pistone pneumatico : cilindro con aria che puo' essere compressa o espansa attraverso una membrana mossa da un sistema leva con biella solidale al pendolo



Termometro composto da filo di platino, ponte elettrico e galvanometro con indice luminoso



Scambiatore di calore formato da dischi di alluminio di diverse forme e diverse caratteristiche da porre nel pistone pneumatico



Introduzione Teorica Generale

Per poter apprendere il Secondo principio della Termodinamica è importante ripassare i concetti chiave delle interazioni che avvengono tra sistemi e l'ambiente anche a livello probabilistico.

Ogni esperienza quotidiana dimostra che un sistema isolato in natura ha sempre la tendenza di portarsi da un sistema più ordinato ad un sistema meno ordinato. E' una definizione intuitiva e in una forma di carattere generale si può affermare che un sistema isolato ha la tendenza a muoversi verso stati più probabili e la direzione del tempo è ben chiara



La Termodinamica studia da un punto di vista macroscopico, le modifiche che subisce un sistema termodinamico in conseguenza del trasferimento di energia sotto forma di calore e lavoro.

Il sistema termodinamico è una parte dell'ambiente in cui avvengono le trasformazioni e può essere aperto o chiuso .

Nei sistemi aperti c'è scambio di energia e materia con l'esterno.

Nei sistemi chiusi c'è scambio di energia ma non di materia con l'esterno.

Se il sistema è chiuso e non è consentito lo scambio di energia in forma di calore o lavoro allora il sistema è isolato.

Le trasformazioni termodinamiche sono quelle in cui cambia una delle seguenti grandezze: pressione, volume o temperatura per cui l'energia fornita ad un sistema chiuso sotto la forma di lavoro e/o di calore si ritrova come energia posseduta dal sistema sotto la forma di energia interna. Per esempio, un aumento della temperatura del sistema corrisponde ad un aumento dell'energia cinetica e rotazionale posseduta dalle sue molecole, ovvero ad un aumento dell'energia che il sistema possiede a livello microscopico, cioè dell'energia interna.

Le grandezze fondamentali per la termodinamica sono il calore e la temperatura.

Il Calore è l'energia che viene scambiata tra un corpo caldo ad un corpo freddo.

La nostra esperienza di tutti i giorni dimostra che due corpi con temperatura diversa tra di loro messi a contatto tra di loro raggiungono dopo qualche tempo un equilibrio termico

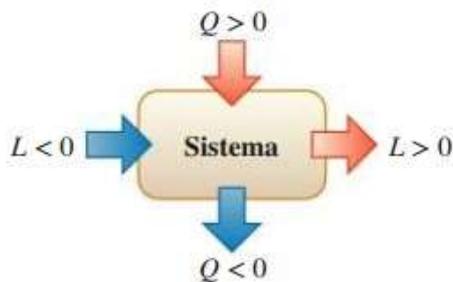
Il principio Zero della Termodinamica

Se due corpi hanno la stessa temperatura allora sono in equilibrio termico e se due sistemi sono in equilibrio termico con un terzo sistema, allora sono in equilibrio termico anche tra di loro

L'equilibrio di un sistema è un concetto di stabilità ovvero il sistema è in equilibrio se esso tende a non cambiare in modo spontaneo: quando sono soddisfatte le condizioni di equilibrio meccanico, chimico e termico abbiamo un sistema in equilibrio termodinamico.

Il primo principio della termodinamica è una espressione generale della legge di conservazione dell'energia in cui si include il calore.

Prima di enunciarlo è necessario attribuire una convenzione dei valori positivi e negativi del calore e del lavoro:



Q positivo	Il sistema <i>acquista</i> calore
Q negativo	Il sistema <i>cede</i> calore
L positivo	Lavoro eseguito <i>dal</i> sistema
L negativo	Lavoro eseguito <i>sul</i> sistema

Enunciato del Primo Principio della Termodinamica:

L'energia fornita ad un sistema chiuso sotto la forma di lavoro o di energia termica si ritrova come energia posseduta dal sistema sotto la forma di energia interna.

La variazione di energia interna ΔE di un sistema è legata quindi al calore scambiato e dal lavoro compiuto secondo la relazione:

$$\Delta E_{interna} = Q - L$$

dove Q è il calore e L è il lavoro

L'energia interna è una funzione di stato cioè dipende unicamente dallo stato iniziale e finale di un sistema e non dal modo in cui il sistema ha raggiunto lo stato finale.

Il Primo Principio della Termodinamica costituisce la generalizzazione del Principio di Conservazione dell'Energia.

Il Primo Principio non fornisce però indicazioni riguardo:

- l'evoluzione spontanea delle trasformazioni
- il rendimento delle trasformazioni
- la reversibilità del fenomeno

Enunciato del Secondo Principio della Termodinamica

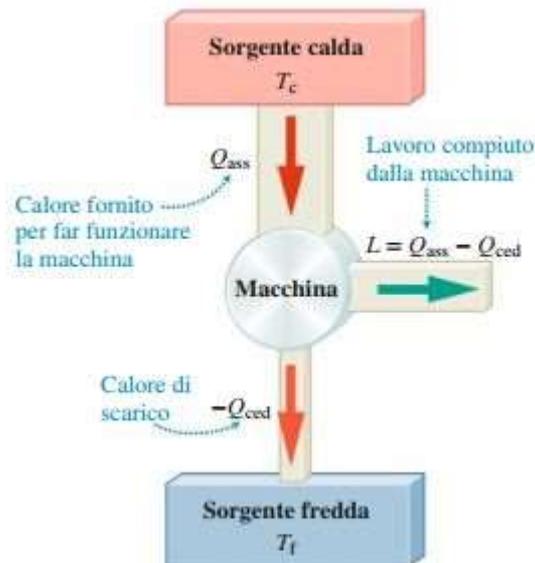
Le varie osservazioni quotidiane e sperimentali sul funzionamento dei motori termici e macchine frigorifere portano ad enunciare il Secondo Principio della Termodinamica in molte forme ed in generale i due modi sono i seguenti:

Enunciato di Clausius: è impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato è quello di trasferire calore da una sorgente calda ad una fredda

Conseguenze:

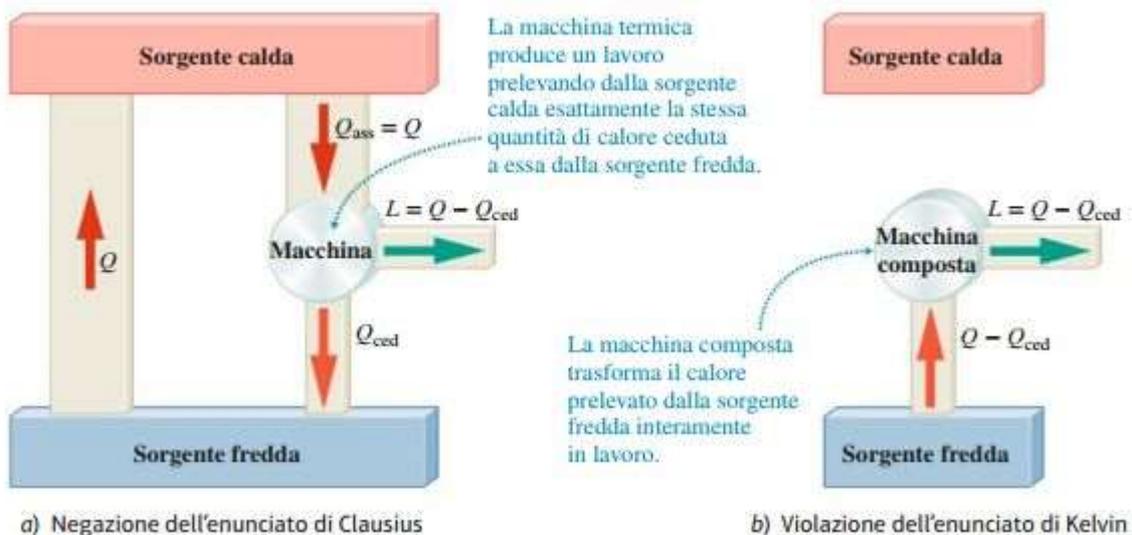
1. l'energia che non è stata trasformata in lavoro deve essere restituita all'ambiente
2. l'ambiente per ricevere una parte dell'energia termica non trasformata in lavoro deve possedere una seconda sorgente ad una temperatura diversa
3. è impossibile ottenere lavoro da una macchina operante da una unica sorgente di calore

Se definiamo una macchina termica come un dispositivo che trasforma il calore in lavoro:

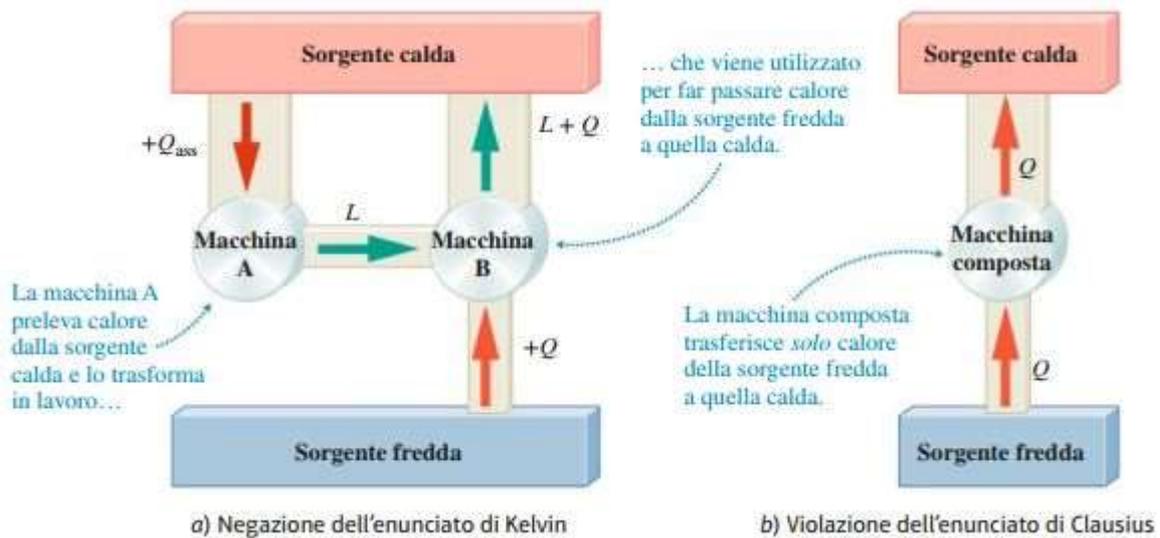


Enunciato di Kelvin: è impossibile realizzare una macchina termica che trasformi in lavoro tutto il calore fornito da una singola sorgente

Il secondo principio della Termodinamica non invalida il Primo Principio ma ne completa le osservazioni sperimentali. I due Principi sono fondamentali per descrivere i fenomeni che si vedono nella realtà. Negando l'enunciato di Clausius si viola l'enunciato di Kelvin :



E negando l'enunciato di Kelvin si viola l'enunciato di Clausius :



Conseguenze:

1. il rendimento (efficienza) di una macchina termica è il rapporto tra il lavoro prodotto dalla macchina con il calore assorbito

$$\eta = \frac{L}{Q_{\text{assorbito}}} = \frac{Q_{\text{assorbito}} - Q_{\text{caduto}}}{Q_{\text{assorbito}}} = 1 - \frac{Q_{\text{caduto}}}{Q_{\text{assorbito}}}$$

Il rendimento di una macchina termica è quindi sempre minore di 1

Non ci sono trasformazioni macroscopiche realmente reversibili: una trasformazione reversibile è una trasformazione IDEALE nella quale gli effetti dissipativi sono nulli (attrito nullo) e gli scambi di energia per effetto degli squilibri (differenza di temperatura) sono infinitesimali. Solo in questo caso l'energia termica può passare spontaneamente da un verso all'altro.

Le trasformazioni macroscopiche reversibili si devono considerare casi limite delle trasformazioni reali

Il filmato della PSSC studia il caso di un pendolo rovesciato che oscilla mettendo in movimento una membrana di un pistone pneumatico e ne studia il coefficiente di smorzamento

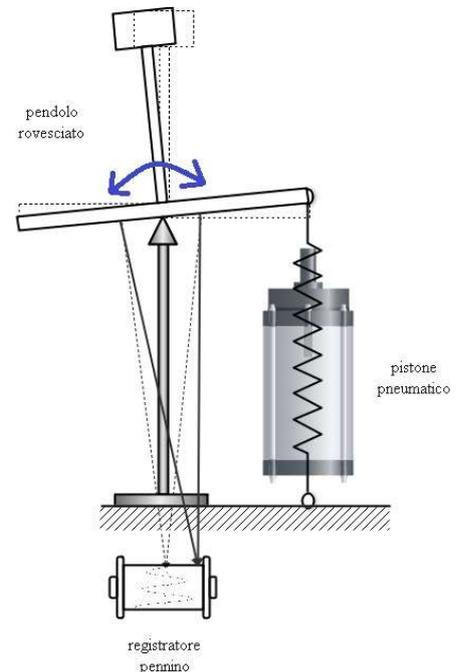
Esecuzione dell'esperienza e descrizione dei risultati ottenuti

Se mettiamo un pendolo in oscillazione sappiamo che non esiste il pendolo ideale in cui il moto è perpetuo. Infatti l'oscillazione del pendolo è smorzata: il pendolo tende a fermarsi.

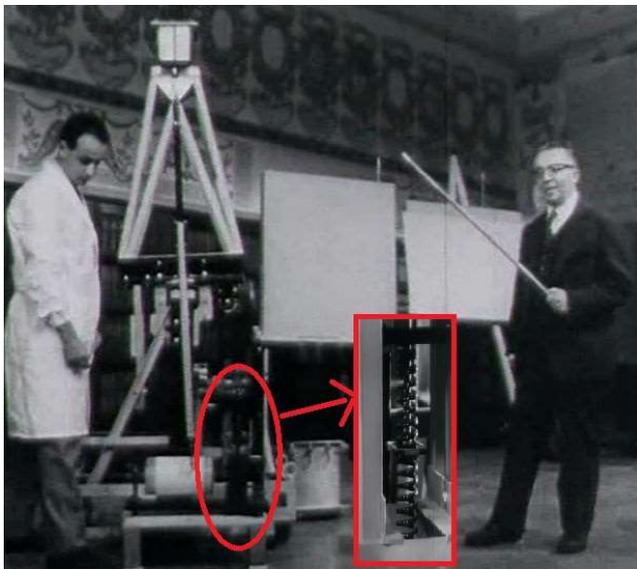
I sistemi oscillanti sono utili perché permettono di studiare il caso reversibile limite in cui il coefficiente di smorzamento di un pendolo tende a zero.

Con il pendolo inverso si possono realizzare delle oscillazioni lunghe.

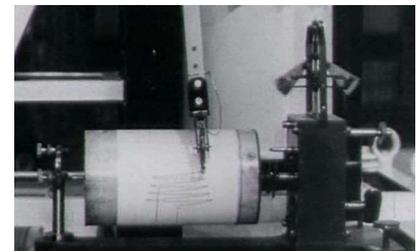
Il filmato introduce lo studio di una macchina costituita da un pendolo rovesciato collegato con una biella ad una membrana di un pistone pneumatico dove l'aria è costretta a comprimersi ed espandersi con la conseguenza di formare con il pendolo un sistema oscillante perché l'aria si comporta come una molla. Vengono effettuate diverse prove con e senza il pistone pneumatico.

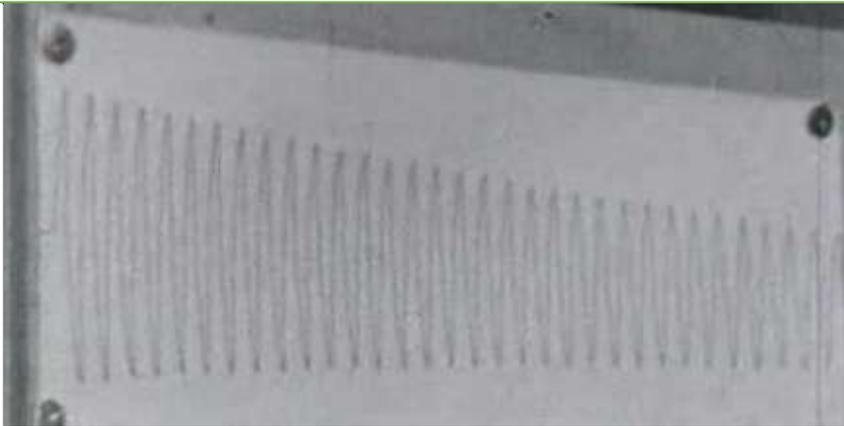


Prima prova



Per trovare lo smorzamento dovuto agli attriti del pendolo inverso viene sostituito il pistone pneumatico con un sistema a molle. Il pendolo viene messo in oscillazione e le molle reagiscono alla compressione restituendo la forza al pendolo stesso così da avere delle oscillazioni. Le oscillazioni sono ovviamente smorzate per gli attriti della macchina per cui il pendolo è destinato a fermarsi nel tempo. Durante il moto un pennino con inchiostro registra l'oscillazione su un tamburo in rotazione.





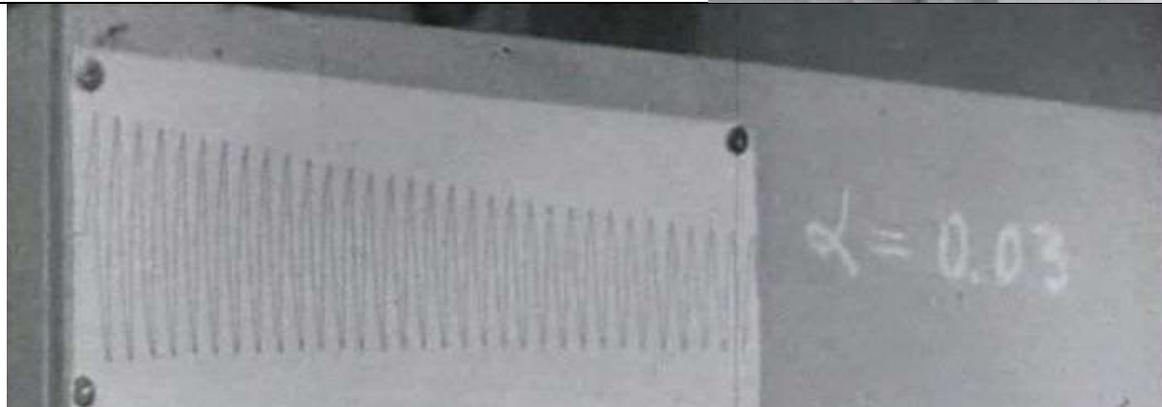
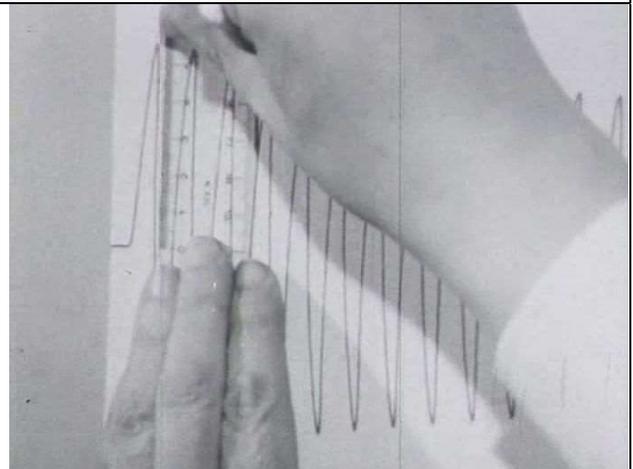
Il foglio con la registrazione del pennino viene rimosso dal tamburo e si nota che le oscillazioni sono smorzate ovvero l'ampiezza si riduce con il tempo.

L'ampiezza iniziale viene rilevata in centimetri con un righello :

$$A = 5.5 \text{ cm}$$

Si ricavano quindi il numero delle oscillazioni per ridurre del 50% l'ampiezza iniziale

$$n = 32$$

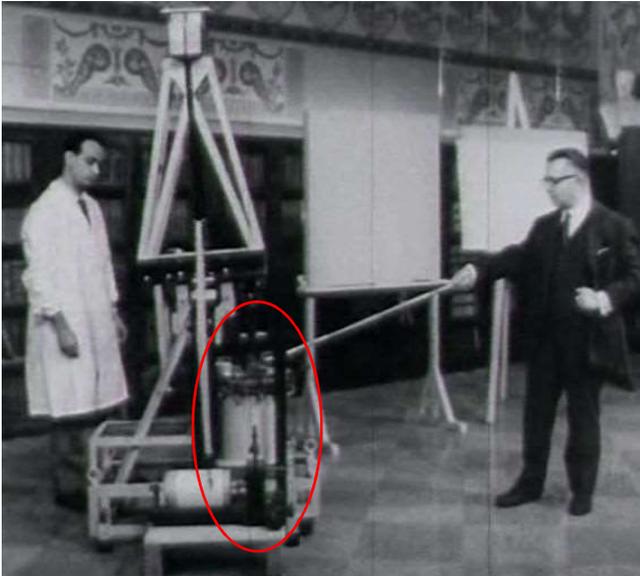


Il coefficiente di smorzamento è dato dalla seguente formula:

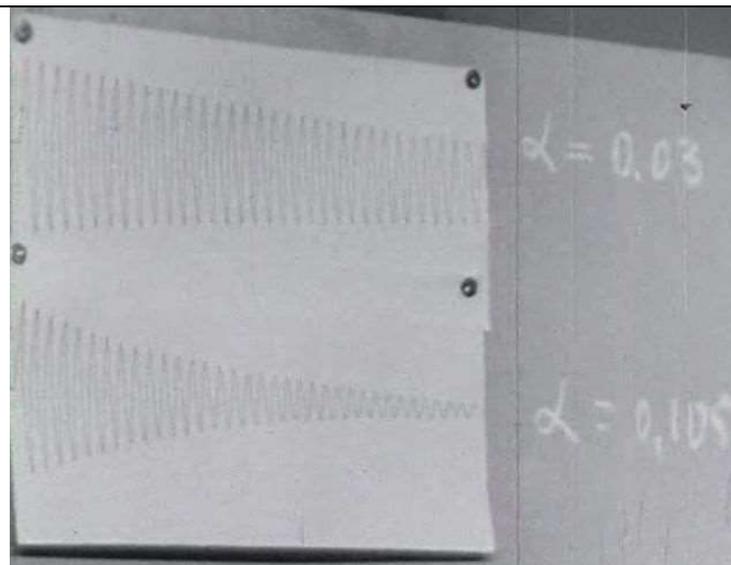
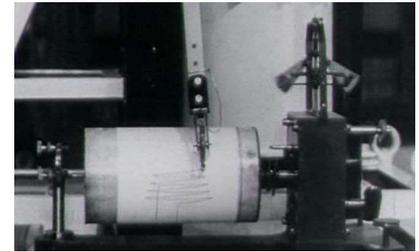
$$\text{prima prova} \rightarrow \alpha = \frac{1}{n} = \frac{1}{32} \cong 0.03$$

dove n è numero delle oscillazioni per ridurre del 50% l'ampiezza iniziale. E' un valore molto basso e quindi si ipotizza che l'attrito è trascurabile

Seconda prova



Vengono rimosse le molle e viene collegato il pistone pneumatico al pendolo rovesciato. Il pendolo viene messo in ancora oscillazione e questa volta è il pistone pneumatico che reagisce alla compressione restituendo la forza al pendolo stesso così da avere delle oscillazioni. Le oscillazioni sono ancora smorzate per cui il pendolo è destinato a fermarsi nel tempo. Durante il moto un pennino con inchiostro registra l'oscillazione su un tamburo in rotazione.



I due grafici vengo posti vicini e si nota immediatamente che il periodo delle oscillazioni è lo stesso e l'ampiezza della prima oscillazione è quasi la stessa della prova precedente ma lo smorzamento delle oscillazioni è molto diverso.

Il coefficiente di smorzamento è in questo caso è :

$$\text{seconda prova} \rightarrow \alpha = \frac{1}{n} = \frac{1}{9.5} \cong 0.105$$

dove n è numero delle oscillazioni per ridurre del 50% l'ampiezza iniziale.

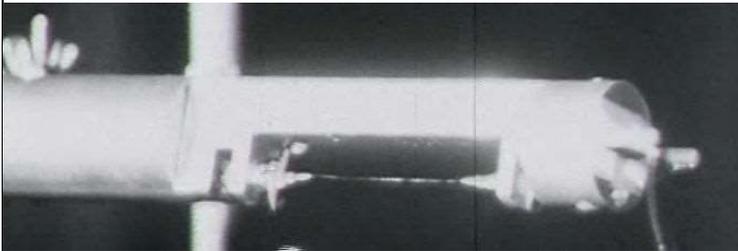
La prova sperimentale dimostra che l'attrito del sistema con il pistone ad aria è maggiore dell'attrito del sistema con le molle meccaniche.

Si deduce che il pistone compie un lavoro. Il lavoro può essere fornito solo dall'energia interna dell'aria contenuta nel cilindro in quanto non viene fornito calore al sistema.

Viene ipotizzato che se l'energia interna del gas compie lavoro allora la temperatura dell'aria all'interno deve aumentare durante la compressione e diminuire durante l'espansione. Se fosse così allora il calore si trasmette alle pareti del cilindro e il sistema è IRREVERSIBILE

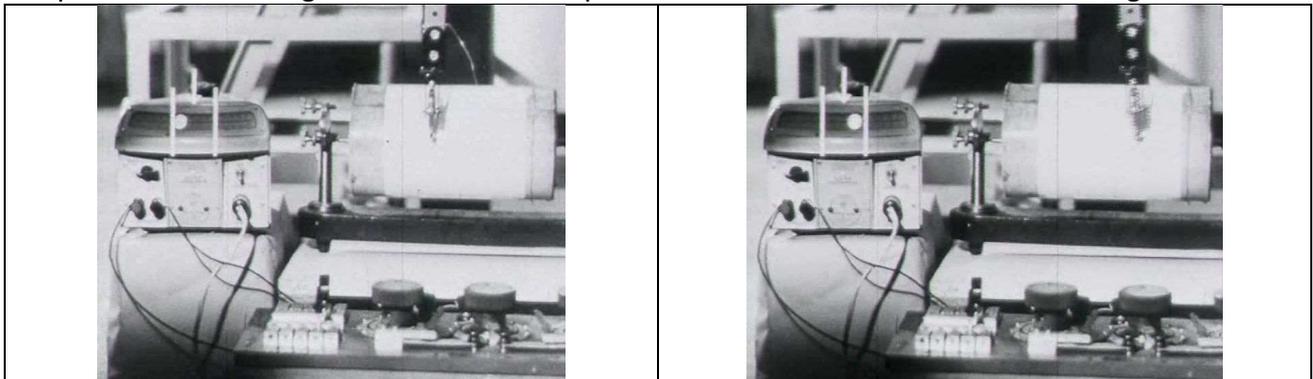
Terza prova

Per poter verificare la variazione di temperatura all'interno del cilindro è necessario avere un termometro "estremamente pronto" ovvero uno strumento che segnala la variazione di temperatura in un tempo molto breve.



Viene realizzato un termometro con un filo di platino il quale ha la caratteristica che la sua resistenza elettrica varia con la temperatura. Il termometro è costituito dal filo di platino, un ponte elettrico (circuito elettrico) e un galvanometro dotato di un indice luminoso

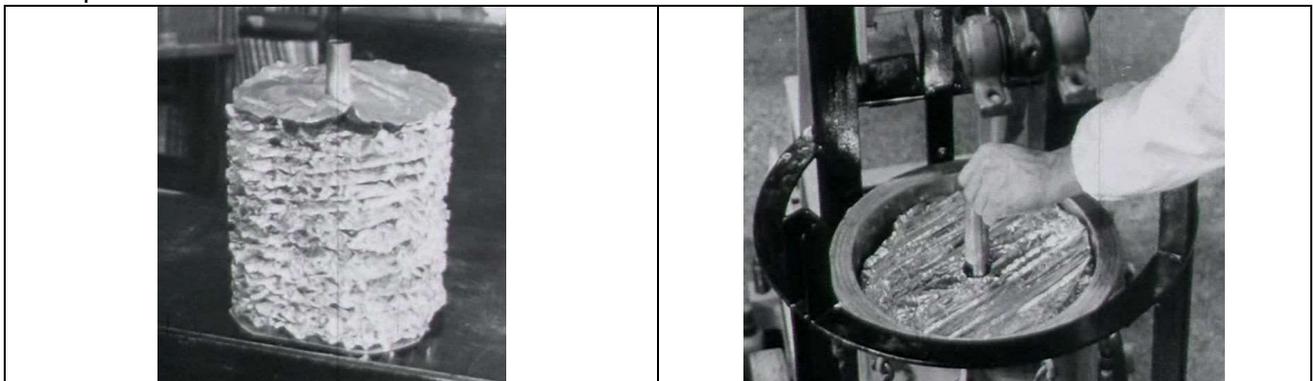
Prima di procedere con la misura dello smorzamento si prova l'efficacia del termometro. L'indice luminoso del termometro mostra che in effetti durante l'oscillazione del pendolo la temperatura varia e segue le oscillazioni del pendolo stesso entro due limiti come in figura:



Durante la compressione la temperatura aumenta e durante l'espansione la temperatura diminuisce ovvero il gas cede calore alle pareti.

La misura della variazione della temperatura non è sufficiente per dimostrare l'ipotesi. E' necessario ridurre di molto lo scambio di calore tra l'aria contenuta nel cilindro e le pareti del cilindro stesso e verificare come la riduzione del calore scambiato cambia lo smorzamento del pendolo inverso.

Viene quindi realizzato uno scambiatore di calore formato da 30 dischi di alluminio corrugato che viene posto all'interno del cilindro

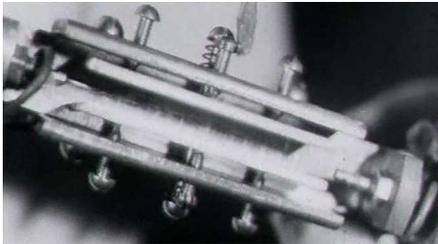


Materiale	Calore specifico J/(g·°C)	Calore specifico cal/(g·°C)
acqua	4,18	1,00
alluminio	0,900	0,215
aria	1,00	0,24

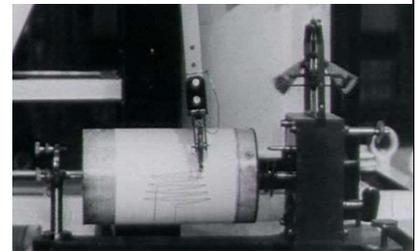
Considerando che il calore specifico dell'Alluminio è di $0.9 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ e che la massa inserita è di 100 grammi, la capacità termica della massa è molto maggiore di quella dell'aria per cui saranno trascurabili le variazioni di temperatura dello scambiatore. Una pari massa viene rimossa dallo scambiatore (era stata messa

precedentemente del cilindro).

Inoltre per assicurare di misurare una temperatura all'interno del cilindro prossima alla temperatura media dell'aria che il filo di platino viene messo vicino a due piastre di alluminio così che lo spazio di aria attorno al filo sia lo stesso tra i fogli dello scambiatore

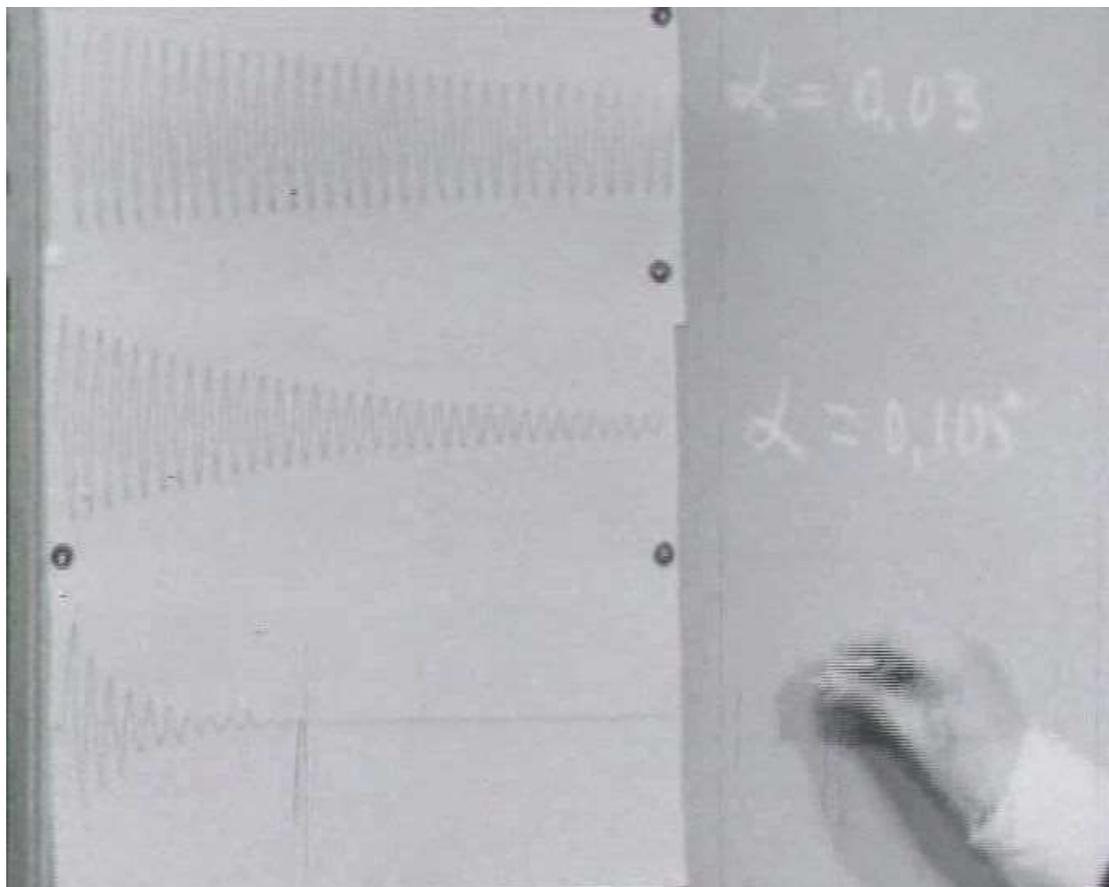


Il cilindro viene chiuso e le oscillazioni misurate con il sistema pennino-tamburo sono ancora smorzate per cui il pendolo è destinato a fermarsi nel tempo.



Il grafico ottenuto viene messo a

confronto con i precedenti:



Viene notato che il periodo e l'ampiezza iniziale sono simili mentre lo smorzamento è variato di molto

Il coefficiente di smorzamento è in questo caso :

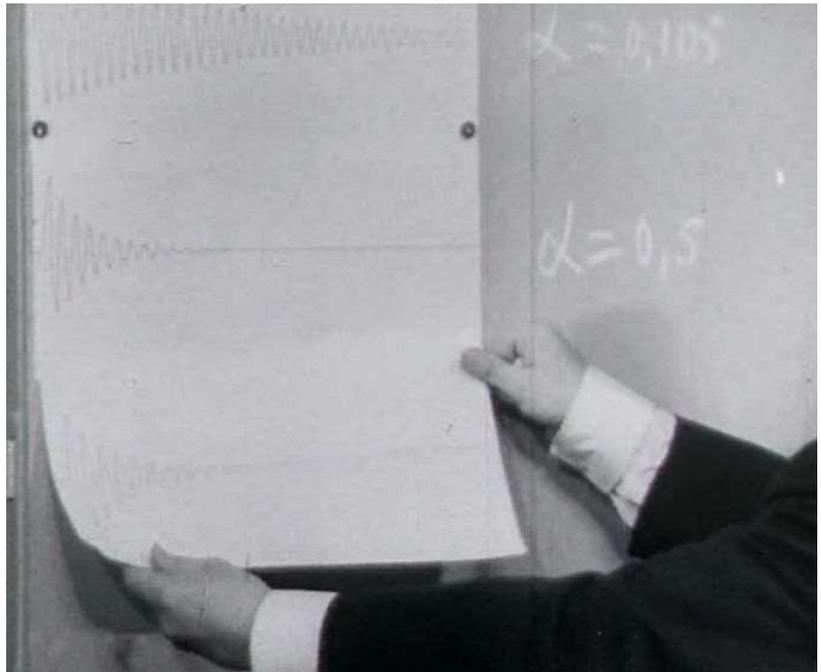
$$\text{terza prova} \rightarrow \alpha = \frac{1}{n} = \frac{1}{2} \cong 0.5$$

Per escludere attriti o altri disturbi viene verificato che lo scambiatore non tocca le pareti del cilindro e successivamente proviamo a cambiare la forma dello scambiatore

Quarta prova

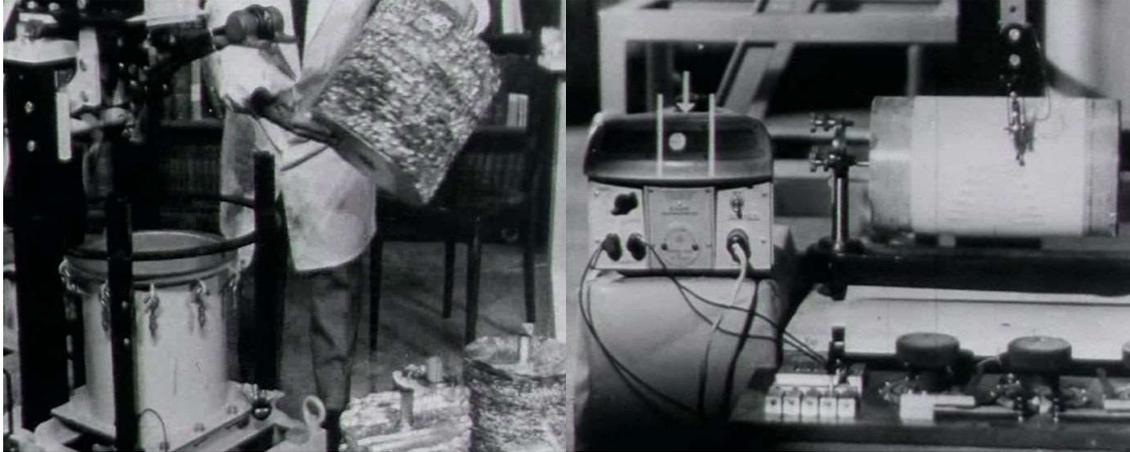
Cambiando la forma dello scambiatore a parità di massa con una forma a spirale, il grafico e il coefficiente di smorzamento che si ricavano sono gli stessi

$$\text{quarta prova} \rightarrow \alpha = \frac{1}{n} = \frac{1}{2} \cong 0.5$$

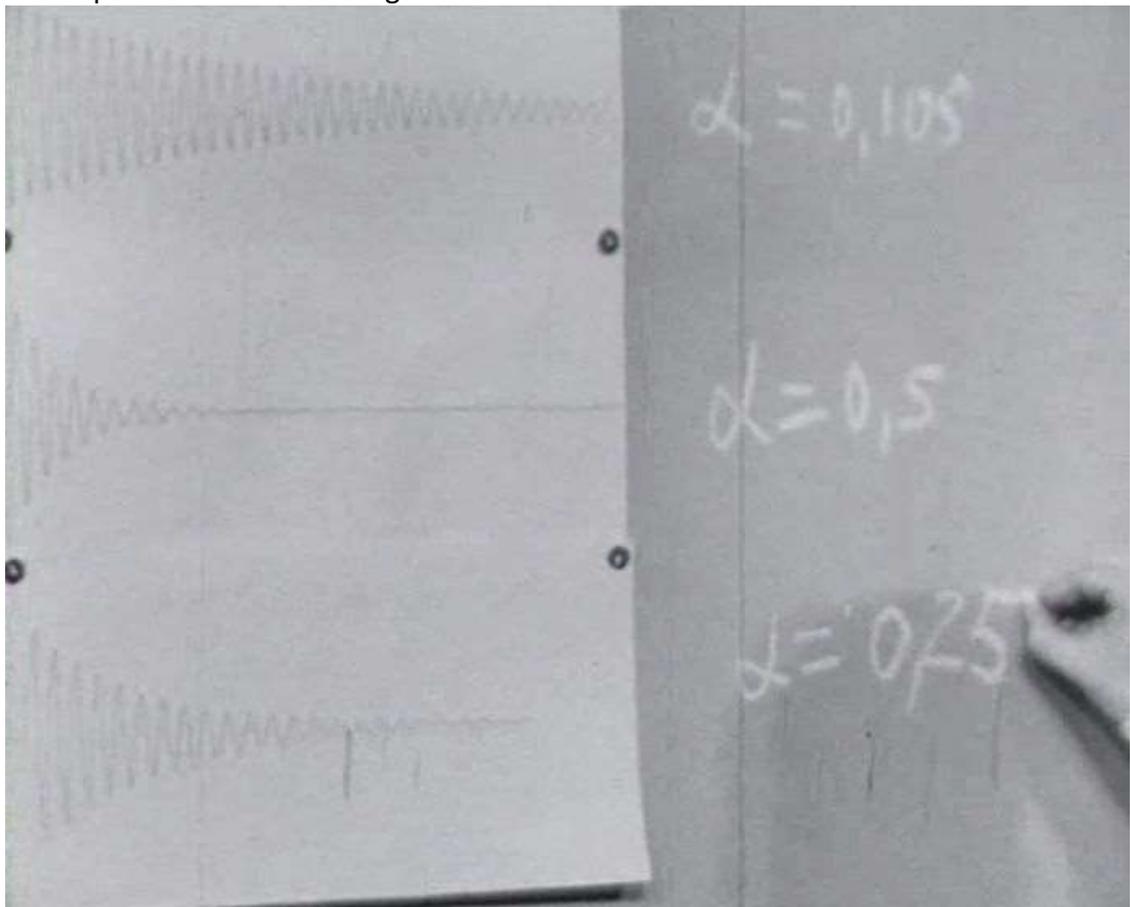


Quinta prova

Accertato che la forma non influenza lo smorzamento nella prova corrente viene alterata la superficie dello scambiatore . Esso è ora composto da 100 fogli (la massa dello scambiatore è aumentata per cui rimuovo una pari massa dal cilindro precedentemente inserita)



Il grafico così ottenuto è diverso dal precedente in quanto è meno smorzato come pure è diminuito il salto di temperatura misurato dal galvanometro



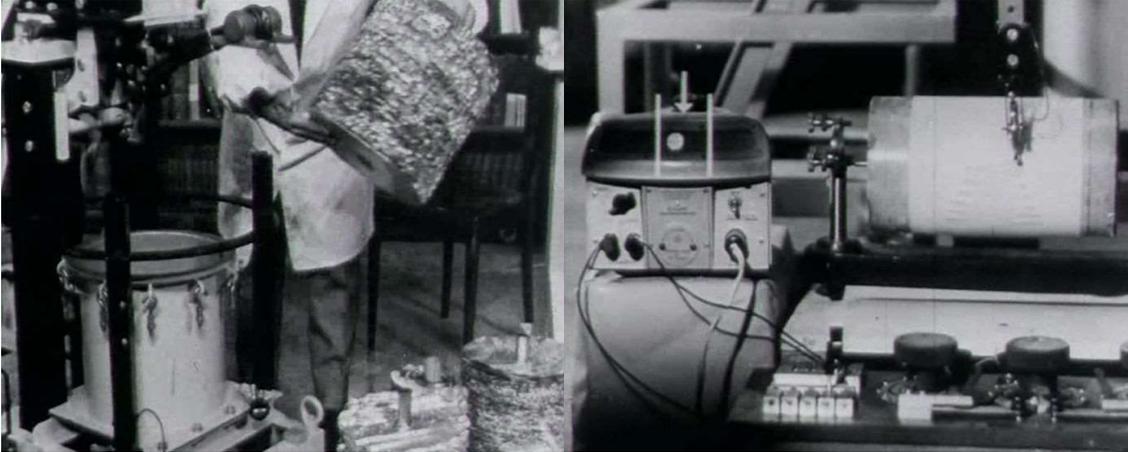
Il coefficiente di smorzamento è in questo caso :

$$\text{quinta prova} \rightarrow \alpha = \frac{1}{n} = \frac{1}{4} \cong 0.25$$

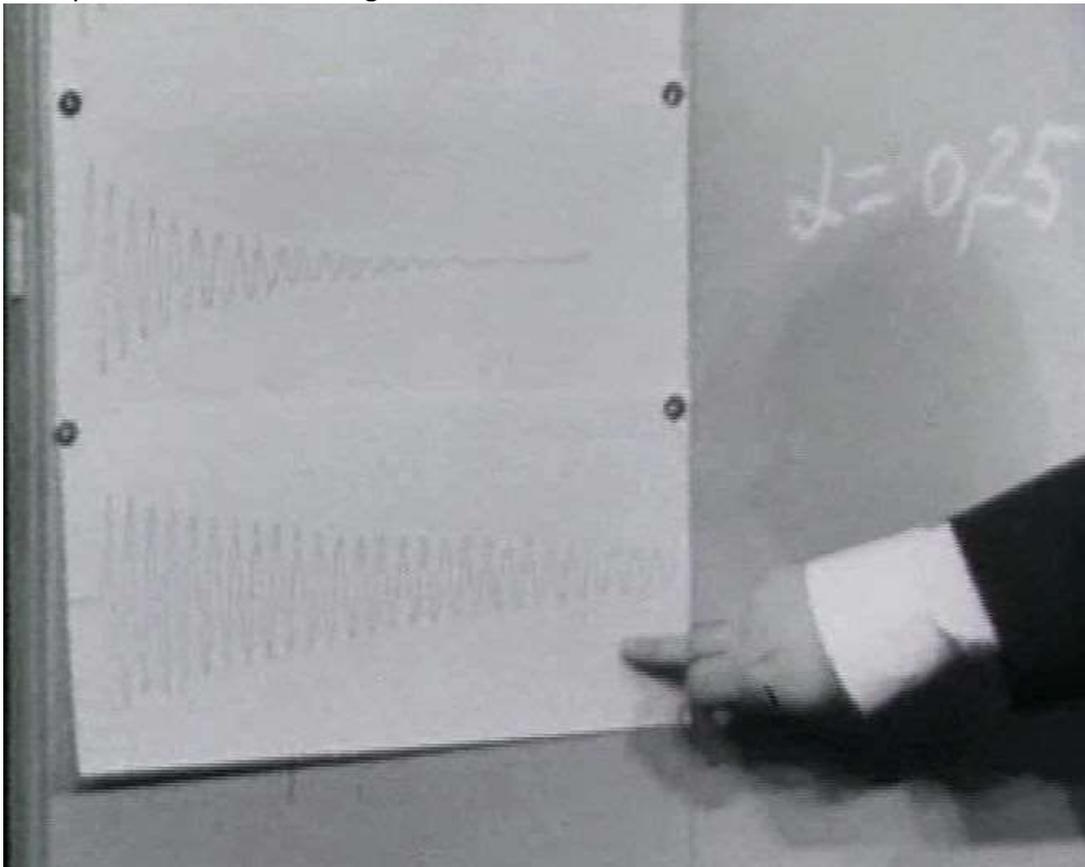
Viene quindi notato che la superficie dello scambiatore influisce sullo smorzamento e sul salto di temperatura

Sesta prova

Accertato che la forma non influenza lo smorzamento nella prova corrente viene alterata la superficie dello scambiatore. Esso è ora composto da 100 fogli (la massa dello scambiatore è aumentata per cui rimuovo una pari massa dal cilindro precedentemente inserita)



Il grafico così ottenuto è diverso dal precedente in quanto è meno smorzato come pure è diminuito il salto di temperatura misurato dal galvanometro



Il coefficiente di smorzamento è in questo caso :

$$\text{Sesta prova} \rightarrow \alpha = \frac{1}{n} = \frac{1}{12} \cong 0.08$$

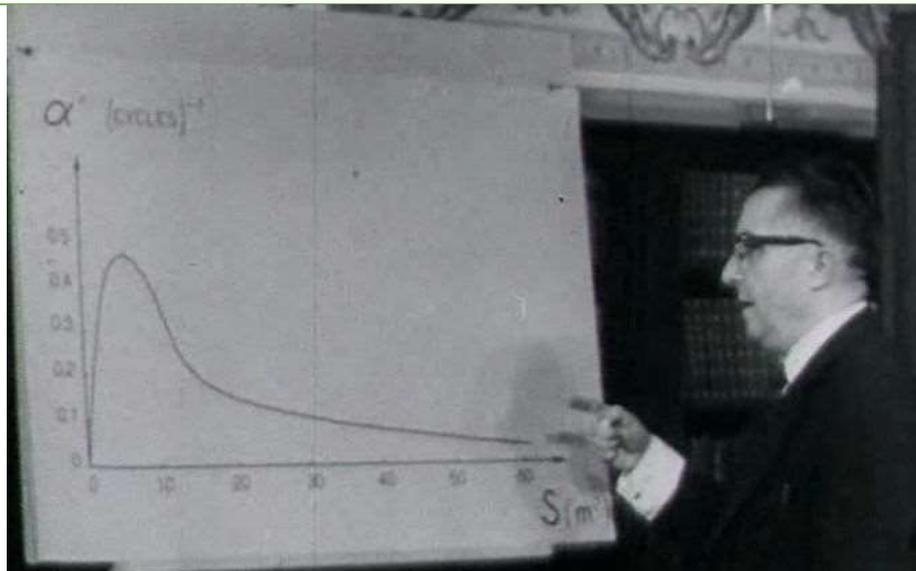
E' la conferma che la superficie dello scambiatore influisce sullo smorzamento e sul salto di temperatura

Vengono eseguite altre due prove con superfici sempre maggiori dello scambiatore
Riassumiamo i risultati ottenuti nella seguente tabella

	descrizione	A Ampiezza iniziale [cm]	n numero delle oscillazioni per ridurre del 50% l'ampiezza iniziale.	Coeff. Smorzamento $\alpha = \frac{1}{n}$
Prima prova	Solo molla Cilindro non presente	~ 5.5	32	0.03
Seconda prova	Solo cilindro senza scambiatore	Simile alla precedente	9.5	0.105
Terza prova	Cilindro con scambiatore 30 dischi	Simile alla precedente	2	0.50
Quarta prova	Cilindro con scambiatore spirale di pari massa alla terza prova	Simile alla precedente	2	0.50
Quinta prova	Cilindro con scambiatore 100 dischi	Simile alla precedente	4	0.25
Sesta prova	Cilindro con scambiatore 400 dischi	Simile alla precedente	12	0.08

Eliminando gli effetti dell'attrito meccanico ricavata con la prima prova ecco il grafico che relaziona il coeff. di smorzamento con la superficie dello scambiatore.

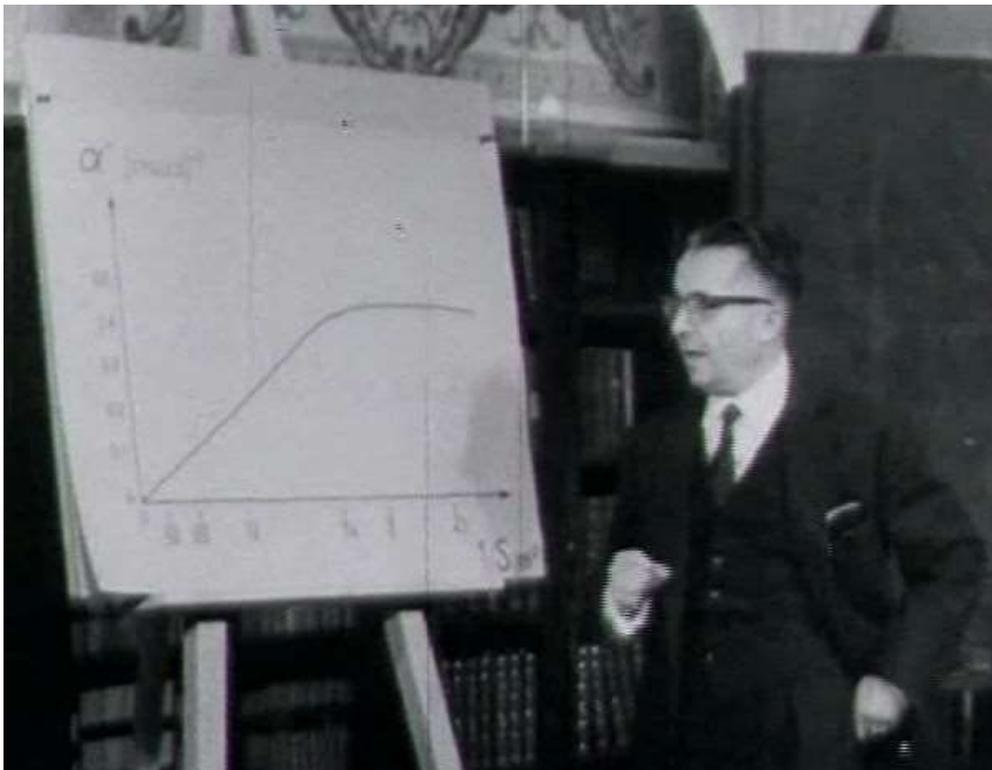
I punti sono stati interpolati in una curva . Essa ha una forma come in figura :



Notiamo che la curva passa per l'origine che corrisponde ad una superficie dello scambiatore nulla e ad uno smorzamento nullo. Questa condizione equivale ad uno scambio di calore nullo. E' una trasformazione reversibile in cui l'aria è in equilibrio durante le oscillazioni. Questa affermazione vale solo per le lente oscillazioni (è per questo motivo che abbiamo usato un pendolo inverso).

Le trasformazioni che avvengono senza scambio di calore sono chiamate ADIABATICHE
Per avere una trasformazione reversibile abbiamo ricavato la prima condizione necessaria

Per ricavare la seconda condizione necessaria, studiamo quello che avviene per le grandi superfici.
Si ricava quindi l'andamento dello smorzamento in funzione dell'inverso della superficie $1/S$:

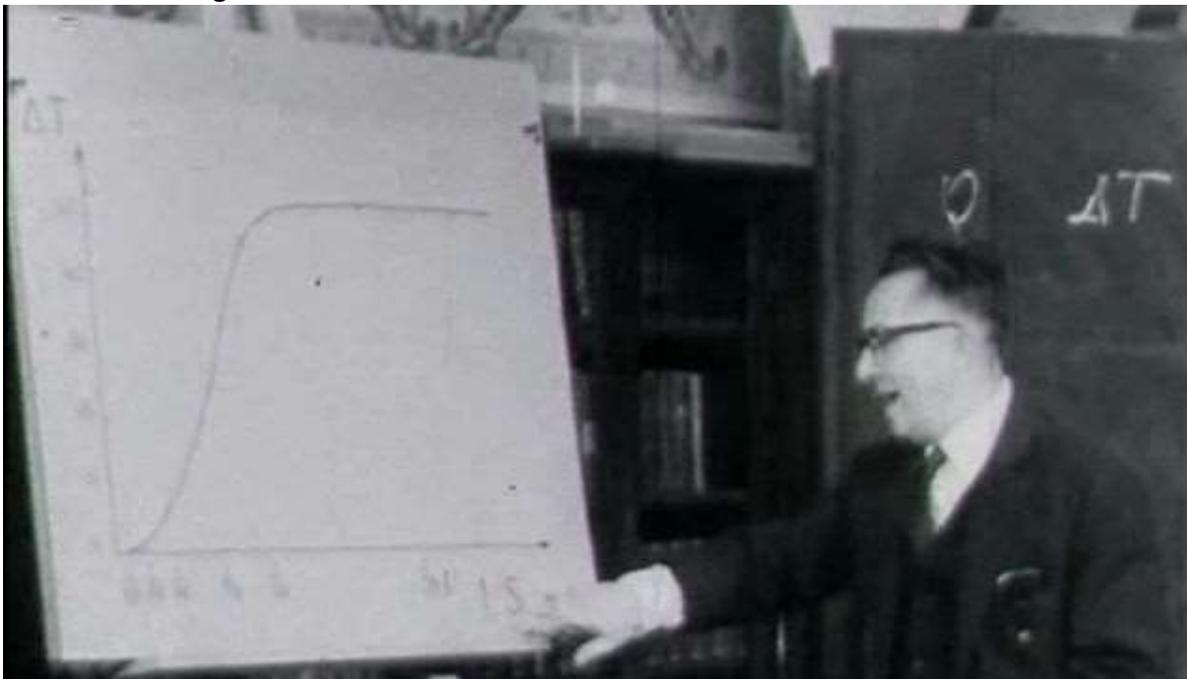


Anche questo grafico parte dall'origine: il coefficiente di smorzamento è nullo nel caso di superfici dello scambiatore infinite, quindi la trasformazione in quel punto è REVERSIBILE

Per ben comprendere il significato di trasformazione REVERSIBILE e IRREVERSIBILE osserviamo che :

- Nella trasformazione IRREVERSIBILE il calore Q passa da un corpo con temperatura T_1 ad un altro corpo con temperatura T_2 se T_1 è maggiore di T_2 . Se invece $T_2 > T_1$ allora il calore cambia verso .
- Nelle trasformazioni REVERSIBILI ho un passaggio di calore che può cambiare segno se la differenza ΔT è infinitesimale.

Per cui se viene realizzato il grafico ΔT in funzione dell'inverso della superficie dello scambiatore $1/S$ si nota che abbiamo un grafico simile :



Il grafico passa per l'origine, quindi nel caso di $\Delta T = 0$ e superfici dello scambiatore infinite la trasformazione è REVERSIBILE: la temperatura del gas non varia durante le oscillazioni se la superficie dello scambiatore è infinita

Le trasformazioni che avvengono a temperatura costante vengono chiamate ISOTERME.

Abbiamo trovato due trasformazioni REVERSIBILI:

la prima è la trasformazione ADIABATICA in cui non avviene lo scambio di calore

la seconda è la trasformazione ISOTERMA in cui non abbiamo un salto di temperatura

Nella realtà le trasformazioni sono invece IRREVERSIBILI.

Il filmato si conclude con l'introduzione dell'ENTROPIA , una grandezza fondamentale legata al degrado dell'energia da uno stato più nobile ed ordinato ad uno stato meno nobile e meno ordinato.

Conclusioni

Il secondo principio della termodinamica è un principio fondamentale secondo il quale le trasformazioni REALI avvengono da stati meno probabili a stati più probabili.

Il Secondo Principio della Termodinamica stabilisce l'unidirezionalità dei fenomeni termodinamici e di conseguenza la loro IRREVERSIBILITÀ attraverso una nuova grandezza fisica, l'ENTROPIA

Nelle trasformazioni reali ed IRREVERSIBILI infatti l'entropia è positiva in quanto il sistema passa da un sistema più ordinato ad un sistema con minor ordine ovvero avviene un degrado dell'energia da un stato più elevato ad uno stato meno elevato. Soltanto nelle trasformazioni REVERSIBILI l'entropia non cambia. Questa conclusione prende il nome di enunciato probabilistico del Secondo Principio della Termodinamica, che afferma: ogni sistema, abbandonato a se stesso, evolverà verso la situazione con massima probabilità. Si conclude quindi che tutti gli enunciati del Secondo Principio non dovrebbero cominciare con la dicitura "È impossibile", ma con "È estremamente improbabile"

Nel caso dell'enunciato di Clausius: "È estremamente improbabile realizzare una trasformazione termodinamica il cui unico risultato consiste nella cessione di calore da un corpo più caldo a uno più freddo". Per comprendere meglio l'entropia e il Secondo Principio della Termodinamica, il racconto di fantascienza 'L'ultima domanda' di Isaac Asimov scritto nel 1956 è una interessante storia con protagonista il computer Multivac sull'entropia con un finale sorprendente.

La stessa domanda posta a <https://chat.openai.com/> ChatGPT è decisamente inadeguata:



Potrà un giorno genere umano, senza dispendio di energie essere in grado di riportare il sole alla sua piena giovinezza perfino dopo che sarà morto vecchiaia?



Al momento attuale, non è possibile per gli esseri umani riportare il sole alla sua piena giovinezza dopo che è entrato nella fase di vecchiaia. Il sole è una gigantesca sfera di gas che brucia il suo combustibile nucleare per produrre luce e calore. Nel corso di miliardi di anni, il sole subisce gradualmente dei cambiamenti, consumando il suo idrogeno e trasformandolo in elio attraverso reazioni nucleari. Questo processo è noto come nucleosintesi stellare.

Quando il nucleo del sole esaurirà l'idrogeno, entrerà in una fase più avanzata della sua vita, chiamata sequenza principale, in cui inizierà a bruciare l'elio. Questo causerà un aumento nella sua luminosità e dimensione, che potrebbe avere effetti significativi sui pianeti che lo circondano, inclusa la Terra.

Tuttavia, non è attualmente possibile per gli esseri umani influenzare direttamente l'evoluzione del sole o invertire il processo di invecchiamento stellare. La nostra comprensione attuale della fisica e delle tecnologie disponibili non ci permette di intervenire sul sole in modo tale da ripristinare la sua giovinezza.

Detto ciò, la scienza e la tecnologia continuano a progredire, e potrebbero emergere nuove scoperte e tecnologie in futuro che potrebbero apportare cambiamenti significativi nella nostra capacità di interagire con le stelle. Ma al momento attuale, non possediamo la conoscenza o la tecnologia per raggiungere l'obiettivo che hai menzionato.

Il Computer Multivac AC ideato da Asimov è decisamente "più preparato"



Bibliografia

Appunti alle lezioni di fisica

Walker -Corso di Fisica 1 – libro di testo classe terza

Federico Tibone Giovanni Pezzi. *La fisica secondo il PSSC*. 25 film in 4 DVD

Isac Asimov - L' ultima domanda- 1956

ChatGPT <https://chat.openai.com/>