

Scienze  Ricerche

# Magazine

luglio 2017





## *Scienze e Ricerche* n. 50, luglio 2017

**LEYDI NATALIA VITTORI, DAVID NEIL MANNERS, PAOLO MAZZUCA, FRANCESCA MAFFEI,  
PASQUALINO MAIETTA LATESSA**

*Benefits of Structured Exercise Training for people with obesity affected by type-2  
diabetes and hypertension: A Pilot Study*

**ROBERTO TOSCANO**

*Neuroni Specchio in Musica, tra Embodied Cognition & Conducting. Vettori di  
un progetto di ricerca sui processi di interpretazione/comunicazione motoria ed  
elaborazione cognitiva nella pratica musicale della Direzione*

**ENRICO ACQUARO**

*Le antichità puniche e le Wanderjahre in Italien di Ferdinand Gregorvius*

**ELENA AGLIARI AND ADRIANO BARRA**

*Elementi di processazione di informazione nei sistemi biologici ed artificiali*

**DAVIDE SCHIFFER, MARTA MELLAI, ENRICA BOVIO, ILARIA BISOGNO, LAURA ANNOVAZZI**  
*NG2 nella genesi e terapia dei gliomi*



## Sommario

---

**NICOLA MONTESANO**

*Matera e Potenza: due insediamenti rocchiani nel medioevo lucano*

*pag.* 5

**LORENZA FIUMI, DARIO GALLO E CARLO MEONI**

*L'amianto a bordo della navi*

*pag.* 9

**FRANCO BAGNOLI**

*Il diario segreto di Quo ovvero Moto perpetuo - 6*

*pag.* 18

### *Magazine*

Supplemento mensile al n. 50 di Scienze e Ricerche, luglio 2017

Scienze e Ricerche  
ISSN 2283-5873

### *Direzione editoriale*

Laura Castellucci, Maria Catricalà, Vincenzo Crosio, Pierangelo Crucitti, Renata De Lorenzo, Roberto Fieschi, Antonio Lucio Giannone, Carlo Manna, Michele Mossa, Francesco Orzi, Paola Radici Colace, Davide Schiffer, Domenico Tafuri, Franco Taggi, Immacolata Tempesta, Brunello Tirozzi, Anna Toscano, Bartolomeo Valentino, Gabriele Virzi Mariotti, Nicola Zambrano

### *Editorial Board*

Giovanni Arduini, Angelo Ariemma, Vincenzo Artale, Franco Bagnoli, Marta Bertolaso, Anna Rosa Candura, Domenico Carbone, Orazio Carpenzano, Paolo Carusi, Laura Castellucci, Ornella Castiglione, Maria Catricalà, Luciano Celi, Monica Colitti, Carla Comellini, Paolo Corvo, Giovanni Crespi, Vincenzo Crosio, Pierangelo Crucitti, Maria D'Ambrosio, Renata De Lorenzo, Elena Dellapiana, Mirko Di Bernardo, Irene Dini, Roberto Fieschi, Ugo Frasca, Isabella Gagliardi, Massimiliano Giacalone, Lia Giancristofaro, Antonio Lucio Giannone, Francesca Giofrè, Giada Giorgi, Agostino Giorgio, Anna Granà, Domenico Ienna, Maurizio Iori, Agostina Latino, Antonio Maria Leozappa, Caterina Lombardo, Maurizio Lozzi, Paola Magnaghi-Delfino, Pasqualino Maietta Latessa, Anna Manna, Carlo Manna, Emilio Matricciani, Fabrizio Mattei, Alessandra Mazzeo, Filomena Mazzeo, Stefania Giulia Mazzone, Leone Montagnini, Michele Mossa, Vito Napolitano, Maurizio Oddo, Gaetano Oliva, Francesco Orzi, Linda Pagli, Claudio Palumbo, Alessandra Pelagalli, Silvia Peppoloni, Laura Pinarelli, Valentina Possenti, Paola Radici Colace, Francesco Rende, Adriano Ribolini, Elisabetta Rovida, Stefano Salmeri, Mariarosa Santiloni, Carmela Saturnino, Davide Schiffer, Antonio Scornajenghi, Raimondo Secci, Matteo Segafreddo, Domenico Tafuri, Franco Taggi, Immacolata Tempesta, Brunello Tirozzi, Anna Toscano, Maria Grazia Turco, Pietro Ursino, Bartolomeo Valentino, Gabriella Vanotti, Silvano Vergura, Vincenzo Villani, Gabriele Virzi Mariotti, Nicola Zambrano, Aldo Zechini D'Aulerio

### *Scienze e Ricerche*

Sede legale: Via Giuseppe Rosso 1/a, 00136 Roma  
Registrazione presso il Tribunale di Roma n. 19/2015 del 2/2/2015  
Direttore responsabile: Sesto Viticoli  
Gestione editoriale: Agra Editrice Srl  
Tipografia: Andersen Spa

Il *Magazine* è un supplemento di divulgazione scientifica e culturale di Scienze e Ricerche, pubblicato mensilmente sia in formato elettronico che cartaceo.

Chiunque può collaborare inviando articoli, contributi e interventi.

*Scienze e Ricerche* è una pubblicazione peer reviewed. Le ricerche e gli articoli scientifici sono sottoposti a una procedura di revisione paritaria che prevede il giudizio in forma anonima di uno o due "blind referees". I referees non conoscono l'identità dell'autore e l'autore non conosce l'identità dei colleghi chiamati a giudicare il suo contributo. Gli articoli vengono resi anonimi, protetti e linkati in un'apposita sezione del sito. Ciascuno dei referees chiamati a valutarli potrà accedervi esclusivamente mediante password, fornendo alla direzione il suo parere e suggerendo eventuali modifiche, miglioramenti o integrazioni.

Il parere dei referees non è vincolante per la direzione editoriale, cui spetta da ultimo ogni decisione in caso di divergenza di opinioni tra i vari referees.

Chiunque può richiedere di far parte del collegio dei referees di Scienze e Ricerche allegando alla richiesta il proprio curriculum, comprensivo della data di nascita, e l'indicazione del settore scientifico-disciplinare di propria particolare competenza.

*Non è previsto l'invio di estratti o copie omaggio agli autori.*

### *Scienze e Ricerche*

Una copia in formato elettronico, versione libera: 7,00 euro (9,00 euro in formato cartaceo)

Abbonamenti annuali:

- in formato elettronico, file pdf a colori in versione libera (12 numeri + Magazine mensile + supplementi e numeri monografici): 51,00 euro (37,00 euro per gli autori e i componenti del comitato scientifico e del collegio dei referees)
- in formato cartaceo, copertina a colori, interno in b/n: (12 numeri e Magazine mensile): 84,00 euro

Il versamento può essere effettuato:

- versamento sul conto corrente postale n. 1024651307 intestato a Scienze e Ricerche, Via Giuseppe Rosso 1/a, 00136 Roma
- bonifico sul conto corrente postale n. 1024651307 intestato a Scienze e Ricerche, Via Giuseppe Rosso 1/a, 00136 Roma  
IBAN: IT 97 W 07601 03200 001024651307
- con carta di credito, utilizzando il servizio PayPal accessibile dal sito: [www.scienze-ricerche.it](http://www.scienze-ricerche.it)

[www.scienze-ricerche.it](http://www.scienze-ricerche.it)  
[info@scienze-ricerche.com](mailto:info@scienze-ricerche.com)

# Il diario segreto di Quo ovvero Moto perpetuo - 6

FRANCO BAGNOLI



**N**elle nostre avventure abbiamo avuto anche a che fare con il moto perpetuo, anche se non così di frequente di quanto ci si potrebbe aspettare, vista l'estrema convenienza di una qualsiasi macchina che si muova per sempre, eventualmente producendo lavoro.

Un esempio di moto perpetuo è l'acquamobile, inventata da Filo Sganga (Figure 1 e 2) [1]. Sganga sostiene che il sistema funziona scindendo l'acqua in idrogeno e ossigeno, usando una batteria. Il primo gas poi brucia con una parte dell'ossigeno, ricaricando la batteria e producendo acqua, e in più movimento. L'ossigeno non bruciato viene liberato.



Figura 1. Filo Sganga illustra a Paperone il suo schema di motore [1].



Figura 2. Il motore di Filo Sganga non solo viola le leggi della fisica, ma anche quelle della chimica [1].

Ovviamente si capisce subito che il sistema non funziona, intanto per ragioni chimiche: se l'acqua è fatta da due atomi di idrogeno e uno di ossigeno, quando si ricombinano devono essere in queste proporzioni. Ma lasciamo stare questo aspetto. Parliamo invece di energia: se ci vuole una certa energia per scindere idrogeno e ossigeno, facendoli ricombinare si può ottenere al massimo la stessa energia, che però sarà sotto forma di calore, e l'efficienza di conversione tra calore ed energia elettrica (per ricaricare la batteria) è piuttosto bassa.

I progetti di macchine capaci di moto perpetuo sono fioriti nel '700: la meccanica sembrava permettere un moto perpetuo, almeno quello senza produzione di lavoro. In effetti esistono delle ottime approssimazioni di moto perpetuo, basta semplicemente mettere un oggetto in rotazione nel vuoto (per esempio un pianeta). Se non ci sono *dissipazioni* (torneremo su questa parola tra poco) l'oggetto continua a ruotare per sempre. Altro esempio sono i "moti" degli elettroni attorno al nucleo.

Ma ovviamente si voleva una macchina che funzionasse sulla Terra, a livello macroscopico, e che eventualmente producesse del lavoro. Quindi in parecchi si sono scervellati per trovare macchine che sfruttassero la gravità prima (magari usando dei liquidi) e l'energia magnetica nell'800.

Questo non vuol dire che non si possano "vendere" macchine perpetue [2].

Già nell'800 però, con la formulazione della termodinamica, si è capito che tali macchine non possono esistere. I progetti di moto perpetuo si dividono in due classi: nella prima quelli che violano il primo principio della termodinamica, ovvero che "creano" energia. Per questi è più fa-

cile da capire da dove nasce l'impossibilità: tutte le forze conosciute sono conservative, ovvero obbediscono al principio di conservazione dell'energia, che non è altro che il primo principio della termodinamica, includendovi anche il calore. Quindi è chiaro che non si può "aggirare" tale legge. Molto più sottile è invece il moto perpetuo di seconda specie, ovvero quello che viola il secondo principio della termodinamica, e che in sostanza prevede di estrarre del lavoro da un unico serbatoio di calore. Conviene ripassare un po' l'argomento.

Per prima cosa conviene definire bene cos'è la temperatura e cosa il calore. Il calore non è altro che l'energia cinetica comunicata al sistema in modo "disordinato", per distinguerlo dall'energia cinetica meccanica che è caratterizzata dal moto ordinato (collettivo) delle parti. Per esempio, tutti gli atomi di una goccia d'acqua che cade hanno la stessa velocità, e si parla di energia cinetica meccanica (o semplicemente cinetica). Quando la goccia d'acqua raggiunge il suolo e si frantuma l'energia cinetica sembra scomparire. In realtà si è semplicemente "dispersa" nel moto disordinato (termico) delle molecole, che è molto più difficile da sfruttare per i nostri fini.

Facciamo un semplice esperimento, già richiamato in precedenza. Prendiamo un martello e martelliamo un pezzo di ferro (Figura 4). Dopo un po' il ferro (e in parte il martello) diventeranno ben caldi. Ma finché il martello non impatta con il bersaglio, la sua temperatura è quella dell'ambiente, anche se ha una certa energia cinetica. Quindi la temperatura ha a che fare con l'energia cinetica, ma NON È l'energia cinetica: bisogna togliere da questa il moto "ordinato" e collettivo del sistema.

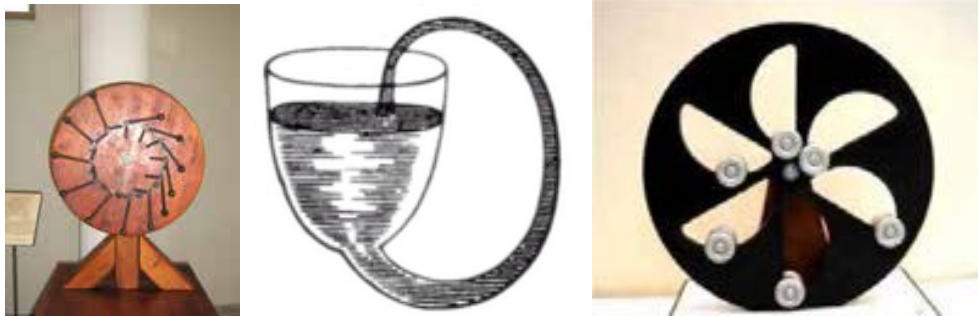


Figura 3. Ecco qualche macchina per il moto perpetuo. Quando riuscite a farle funzionare chiamatemi.



Figura 4. Paperino fabbro [3].

La temperatura di un corpo è quella cosa che diventa uguale quando due corpi sono messi a contatto termico, e lasciati lì un tempo sufficientemente lungo. Che cosa può essere uguale, in termini microscopici? Prendiamo dei modellini di gas o solidi o liquidi, formati da palline di diversa massa o forma, magari collegate tra loro con delle molle, messi in due contenitori che possono comunicare solo attraverso un manubrio (Figura 5).

Il manubrio può spostarsi o oscillare, ma non uscire dalla guida. L'unica cosa che i due materiali possono avere in comune è l'energia cinetica. Ma potremmo anche imporre che il manubrio possa muoversi solo in una direzione, tipo pistone. Si avrebbe ancora l'equilibrio termico, perché ci penserebbero le collisioni molecolari a distribuire l'energia nelle varie direzioni.

Possiamo concludere quindi che la temperatura di un

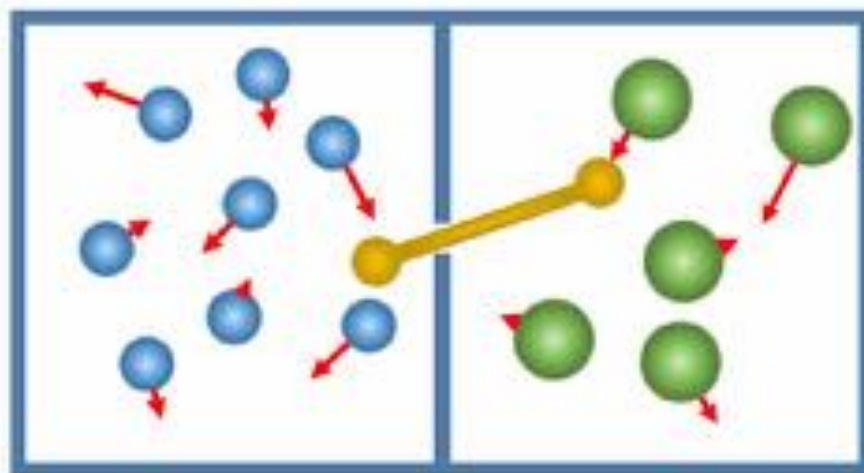


Figura 5. Un modellino per l'equilibrio termico di due gas.

corpo è semplicemente l'energia cinetica media delle particelle che lo costituiscono, "per ogni grado di libertà". Ovvero: se le particelle sono delle sfere che non ruotano, possono solo muoversi nelle tre direzioni e quindi l'energia cinetica media della particella è tre volte la temperatura, in una scala opportuna. Se invece di sfere abbiamo delle molecole rigide, che possono ruotare oltre a traslare, visto che possono ruotare intorno a tre assi, dobbiamo aggiungere altre tre volte la temperatura. Se la molecola può anche vibrare, aggiungiamo ancora altri gradi di libertà. Questo perché si ipotizza che ogni possibile movimento sia collegato tra loro: per esempio, una molecola biatomica che inizialmente non ruota e trasla solo, dopo un urto "sghebo" con la parete può cominciare a ruotare, a scapito ovviamente della sua energia traslazionale.

Abbiamo già visto che l'energia può anche essere immagazzinata nelle molle, e se queste sono abbastanza simili a molle armoniche, c'è un teorema che dice che in media in ogni "modo" o direzione di oscillazione ci sta tanta energia quanta nei modi di traslazione. Quindi per esempio nel caso di un gas biatomico, dovremmo avere che l'energia cinetica dovrebbe distribuirsi tra 3 moti traslazionali, 3 rotazionali e 2 vibrazionali (cinetica e potenziale). Mentre per un gas monoatomico la stessa quantità di energia dovrebbe andare solo nei 3 modi traslazionali e nei 3 rotazionali. Si potrebbero aggiungere anche i moti di vibrazione degli atomi, come se fossero delle palle di gomma, in fondo non sono corpi rigidi, ma sono fatti (almeno esternamente) da elettroni che possono deformare le loro "orbite". Questa distribuzione di energia si chiama capacità termica (meglio "calore specifico"), che è il rapporto tra il calore entrato e l'innalzamento della temperatura. Se ci sono solo 3 modi di distribuire il calore, la temperatura si alza di una quantità proporzionale a  $N/3$ , dove  $N$  è il numero di particelle, quindi una capacità termica uguale a 3 (in opportune unità di misura), se ce ne sono 8 si alza di  $N/8$  e quindi una capacità termica di 8. Peccato che tutto ciò non funzioni...

Prima di tutto, le molecole monoatomiche hanno capacità termica 3, ovvero non ruotano né oscillano. Poi, per le molecole biatomiche, si vede sperimentalmente che solo due gradi di libertà rotazionali sono presenti, invece di tre, il che è consistente con il comportamento delle molecole monoatomiche: un "manubrio" che ruota intorno al manico è equivalente a una palla che ruota, se visto da un punto di vista lungo il prolungamento del manico.

Inoltre i gradi di libertà vibrazionali si eccitano solo ad alte temperature e quindi la capacità termica di un gas aumenta con la temperatura con un andamento "a gradini" (Figura 6). Infine, perché gli elettroni e nuclei non dovrebbero partecipare? Soprattutto gli elettroni nei metalli che sono praticamente liberi!

Se poi si fa l'analisi della radiazione elettromagnetica in una cavità, si vede che i vari modi di oscillazione (come i modi di vibrazione di una corda) si comportano in maniera simile ai gradi di libertà visti sopra, e quindi il contenuto energetico di una cavità dovrebbe essere... infinito!

Eh, sì, ci sono infiniti modi vibrazionali di una corda, con frequenze sempre più alte e lunghezze d'onda sempre più corte (Figura 7).

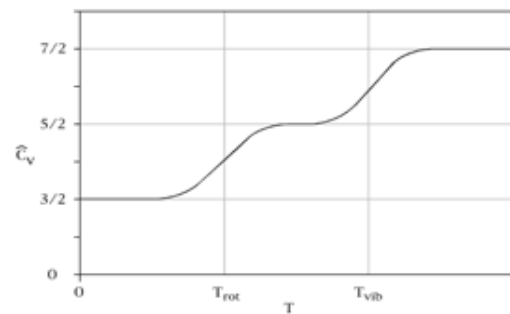


Figura 6. Calore specifico di un gas, immagine da [4].

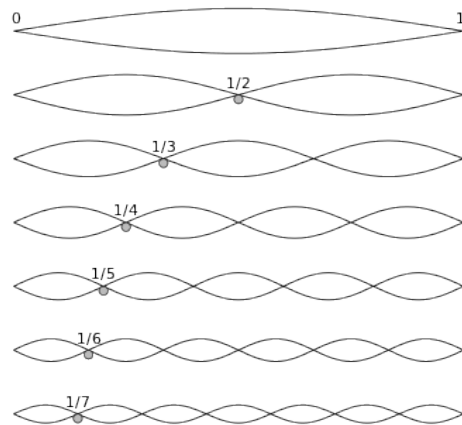


Figura 7. Modi vibrazionali di una corda, immagine da [5].

Questo problema assillava i fisici di fine '800, in particolare il problema della cavità, che appare come un corpo nero. Si può dimostrare che tutti i corpi "neri" si comportano nella stessa maniera indipendentemente dalla loro composizione (Figura 8), e hanno uno spettro caratteristico che però non si riusciva a riprodurre con la fisica classica.

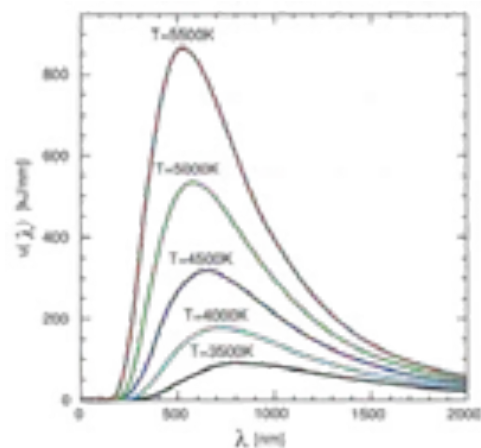


Figura 8. Spettro del corpo nero a diverse temperature. Immagine da [6].



La soluzione trovata da Planck (un po' *obtorto collo*) fu quella di "quantizzare" l'energia. Se l'energia non è continua, ma può assumere solo dei valori discreti, in unità che dipendono dalla frequenza (per la radiazione elettromagnetica) la faccenda cambia: data una certa energia non si possono eccitare tutti i modi, ma solo quelli corrispondenti a quanti di energia di valore abbastanza più piccolo dell'energia a disposizione. Lo stesso vale per i modi di rotazione: tanto più piccolo è il "momento di inerzia" di un oggetto, tanto più grande è il quanto minimo di energia, così che i gas monoatomici non possono ricevere così tanta energia da eccitare tali modi senza distruggersi. Idem per gli elettroni attorno ad un nucleo: possono essere eccitati solo in maniera quantizzata e se diamo troppa energia ovviamente gli elettroni schizzano via e gli atomi si ionizzano.

Per gli elettroni nei metalli (come del resto per gli elettroni negli atomi) bisogna considerare che sono fermioni, quindi non vogliono stare nello stesso stato. Dato un certo numero di elettroni, questi cominciano a occupare gli stati più bassi (vicini al nucleo o di minore energia in un metallo) e solo quelli vicini alla "superficie" dell'energia possono essere eccitati, e quindi partecipare al calore specifico. Ecco perché per un metallo il conto teorico torna se considerano solo i moti "vibrazionali" dei nuclei, tralasciando gli elettroni.

E per i modi traslazionali? Anche quelli sono quantizzati, con una spaziatura che aumenta con il numero  $n$  che indica il livello ( $n=1,2,3$ ). L'energia varia come  $n^2$ , proporzionalmente a una quantità che dipende inversamente dalla massa e dal quadrato della larghezza  $L$  della buca, ovvero, per un contenitore cubico, da  $V^{2/3}$ :

$$E_n = \frac{n^2 \hbar^2}{L^2 m} = \frac{n^2 \hbar^2}{\frac{2}{3} m V^{2/3}}$$

a parte qualche costante (Figura 9). Ho indicato esplicitamente la costante  $\hbar \approx 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s}$  (che poteva essere inclusa nell'unità di misura) per mettere in evidenza rispetto a cosa una quantità si considera grande o piccola.

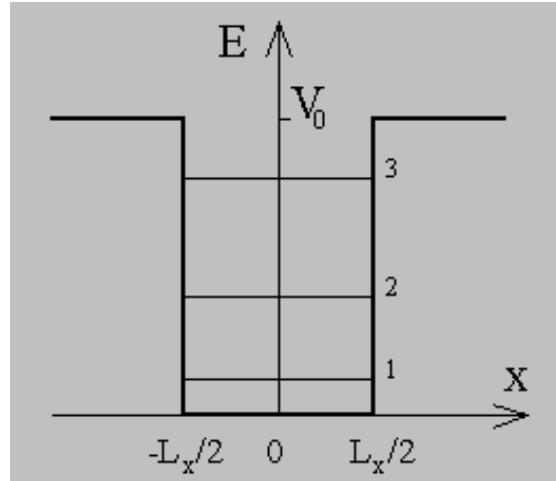


Figura 9. Spaziatura dei livelli in una buca monodimensionale

Quindi, per un corpo "macroscopico", i livelli sono così fittamente spazati (a meno di andare ad energie grandissime) che la meccanica classica funziona. Ma per "buche" di dimensioni atomiche e masse come quelle degli elettroni vale la fisica quantistica.

Questo permette di capire anche come funziona il calore a livello microscopico. Abbiamo detto che il calore è energia. Prendiamo un sistema modello tipico: un gas in una scatola, che però pensiamo di dimensioni microscopiche, così che valga la fisica quantistica.

I componenti del gas si dispongono su vari livelli (che per esempio corrispondono ai vari modi di traslazione, Figura 10).

L'energia totale è ovviamente la somma del prodotto tra numero di particelle in un livello per l'energia del livello stesso. Quindi si può fornire energia o cambiando l'energia dei livelli, o cambiando la popolazione dei livelli. Per cambiare l'energia dei livelli basta... cambiare la dimensione della scatola: è la classica compressione del pistone, ovvero lavoro fatto sul sistema, ovvero energia comunicata senza passaggio di calore: una trasformazione adiabatica.

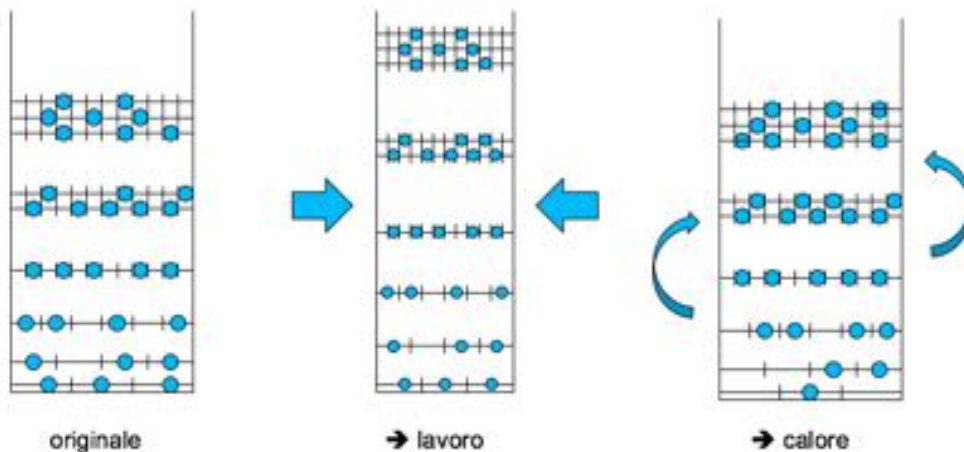


Figura 10. Calore e lavoro a livello microscopico.

Viceversa, cambiare la popolazione vuol dire comunicare energia senza cambiare il volume, ovvero il classico passaggio di calore.

Nel primo caso (lavoro adiabatico) il disordine non aumenta, e quindi l'entropia è costante, nel secondo aumenta (Figura 10, a destra).

In termodinamica si parla di "serbatoi di calore", che non sono altro che corpi di grande massa, grande capacità termica e buona conduttività, tali da non cambiare temperatura per quanto calore si estragga o si "getti dentro". Si può pensare a un grosso contenitore d'acqua. Ora, questo serbatoio contiene una grande quantità di energia sotto forma di calore, almeno se la sua temperatura è sopra lo zero assoluto. Perché non si può estrarre?

Potremmo pensare ad almeno due tipi di dispositivi: una paletta bloccata con un nottolino (ratchet, vedi Figura 11) o un "diavoletto" capace di distinguere tra molecole lente e veloci (in un gas c'è tutta una distribuzione di temperature), che può aprire o chiudere uno sportellino separando le due componenti, e quindi creando una differenza di temperatura che può poi essere sfruttata con metodi convenzionali (Figura 12).

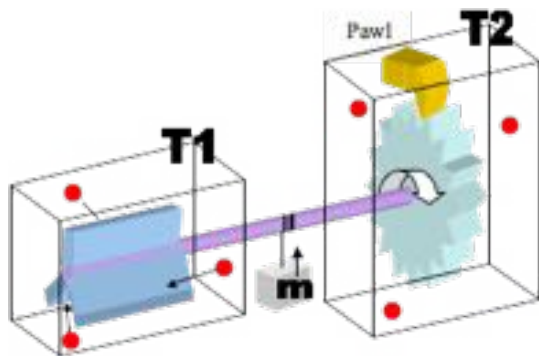


Figura 11. Un motore basato su un meccanismo a scappamento. Immagine da [7].

I due sistemi violano rispettivamente i due enunciati del secondo principio: quello di Clausius "È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di trasferire calore da un corpo più freddo a uno più caldo senza l'apporto di lavoro esterno" e quello di Kelvin-Planck "È impossibile realizzare una trasformazione ciclica il cui unico risultato sia la trasformazione in lavoro di tutto il calore assorbito da una sorgente omogenea". Ma perché? Non ci faremo mica fermare da un enunciato?

Il diavolo al solito sta nei dettagli. Prendiamo il sistema a palette: perché possa funzionare il nottolino deve avere una massa simile a quella delle particelle che colpiscono le palette, perché altrimenti ci mette troppo tempo a "partire" e nel frattempo il "frullino" riceve altre collisioni in altre direzioni, che annullano l'effetto. Ma se tutto il sistema sta alla stessa temperatura, anche il nottolino deve fluttuare, con una ampiezza comparabile all'energia delle particelle e quindi ogni tanto "salta" da solo e fa scorrere il sistema

all'indietro. Nel secondo caso, anche il diavoletto dev'essere alla stessa temperatura delle molecole. Ma "vedere" vuol dire assorbire fotoni, ovviamente emessi dalle molecole. Se anche il diavoletto ha la stessa temperatura, anche lui emetterà fotoni, e quindi la sua retina (o qualsiasi dispositivo usi) non riuscirà a distinguere tra fotoni emessi dalle molecole e quelli emessi dal diavoletto stesso. Inoltre, se la scatola ha la stessa temperatura delle molecole, il diavoletto non può distinguere le particelle dallo sfondo, perché gli arrivano fotoni tutti uguali.

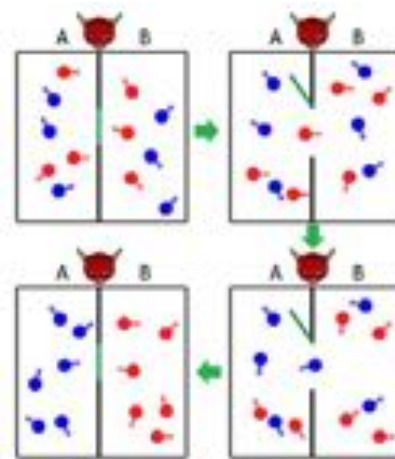


Figura 12. Diavoletto di Maxwell, immagine da [8].

Se il sistema è fuori dall'equilibrio (ovvero il nottolino o il diavoletto sono a una temperatura più bassa delle palette o delle molecole) allora il meccanismo funziona, ma questa non è altro che una macchina termica "standard" che trasferisce calore dalla sorgente calda a quella fredda, producendo lavoro.

Similmente, se si realizza il sistema usando delle palline agitate meccanicamente, questo funziona, perché il gas "granulare" è a una temperatura effettiva più alta della temperatura ambiente, e quindi delle palette e del nottolino [9] (Figura 13).



Figura 13. Estrarre energia da un gas granulare con un ratchet [10].

Un altro tipo di *moto perpetuo* apparente è quello del "drinking bird" o "dipping bird" (Figura 14).



Figura 14. Dipping bird, immagine da [11].

L'uccellino continua a "bere" dal bicchiere per SEMPRE! Beh, diciamo finché c'è acqua e finché l'umidità dell'aria si mantiene al di sotto di una certa percentuale. Guardiamo com'è fatto. C'è un tubo di vetro con un bulbo, il corpo dell'uccello, contenente un liquido di solito di colore rosso. In cima, verso la testa, c'è un altro bulbo coperto da qualche tessuto che assorbe acqua facilmente. Notare che c'è un tubo che collega la testa a un punto al di sotto del livello del liquido, in posizione verticale.

Facciamo iniziare il movimento bagnando il becco. Questo sicuramente si raffredda per evaporazione (se l'umidità dell'aria non è al 100%) e diminuisce la pressione di vapore. Così il liquido rosso viene "succhiato" verso la testa, spostando il baricentro, e l'uccello si inclina. A un certo punto l'inclinazione è tale che la parte inferiore del tubo "esce fuori" dal liquido, permettendo a questo di ridiscendere e al vapore di risalire. Questo momento coincide con l'immersione del becco nell'acqua. Così il ciclo può ricominciare.

Ovviamente ci vogliono le sostanze giuste: in particolare il liquido deve avere un punto di ebollizione basso e che sia

tale da far salire facilmente il liquido. Si usa normalmente il Diclorometano ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), che bolle a  $40^\circ\text{C}$ .

Ma vista nel suo complesso, può essere una macchina per il moto perpetuo? No! È sicuramente una macchina, perché ha un comportamento periodico. Come per tutte le macchine, internamente non cambia nulla, in media. Tanta energia viene assorbita quanta emessa (tra calore e lavoro) perché essendo ciclica ritorna allo stato di partenza.

Tuttavia, c'è del lavoro prodotto, che deve venire da qualche parte. Quello che fa il nostro uccello è di sfruttare la differenza di **entropia** tra acqua e vapore, dato che l'umidità non è al 100%. Ovvero: energeticamente l'acqua "preferisce" stare nella fase liquida (o anche solida), ma ci sono molte più disposizioni di molecole in aria che in acqua (se l'umidità non è al 100%). L'entropia è il logaritmo del numero di tali disposizioni (usando una opportuna unità di misura). Il bilancio tra energia e entropia è dato dalla temperatura: se la temperatura è bassa vince l'energia e l'acqua sta nella fase liquida (o solida abbassando ancora la temperatura), se la temperatura è alta vince l'entropia e

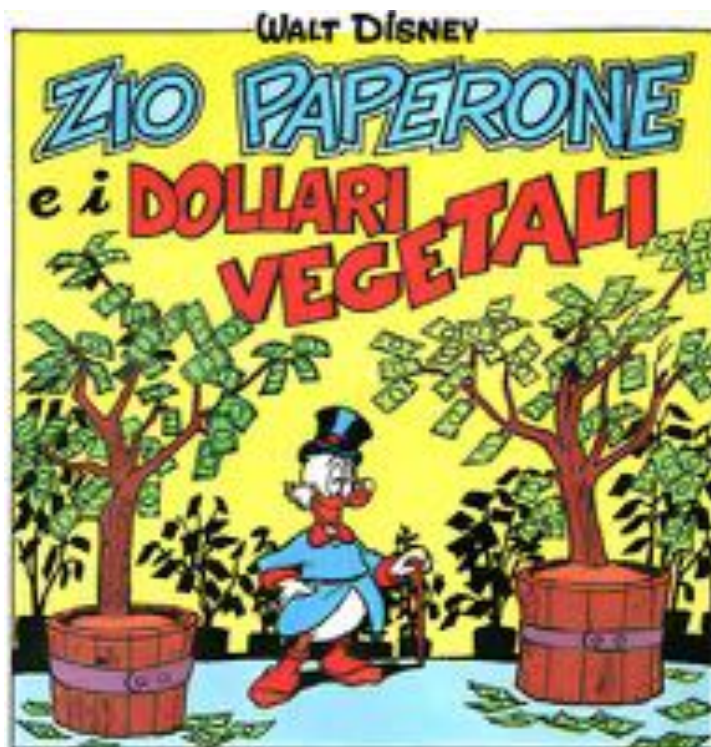


Figura 15. Paperone coltivatore [13].

l'acqua evapora di più. Ma in ogni caso per evaporare le molecole d'acqua devono vincere l'attrazione che sentono da parte delle loro compagne, ovvero devono assorbire energia dall'ambiente e quindi l'acqua si raffredda. Il ragionamento è simile a quello che abbiamo visto nel capitolo su ghiaccio, dollari e gelati [12].

La nostra macchina termica sfrutta questo flusso di entropia. L'acqua del bicchiere sarebbe evaporata lo stesso, ma l'uccello si "intromette", aumentando il tasso di evaporazione complessivo, e convertendo parte dell'energia contenuta nell'acqua in lavoro (che poi viene dissipato lo stesso). Lo può fare perché "sta nel mezzo" di un sistema fuori dall'equilibrio: se racchiudessimo il tutto in una scatola isolata, presto o tardi il movimento si interromperebbe, quando l'umidità della scatola raggiunge il 100% (probabilmente molto prima).

Questo è in fondo quello che fanno le creature viventi (diciamo le piante e tutti gli organismi autotrofi che si basano sul sole): la radiazione solare rende la Terra un sistema fuori dall'equilibrio. Senza organismi viventi, la radiazione scalderebbe il suolo e sarebbe poi dispersa nello spazio. Le piante si intromettono, utilizzando la differenza di energia per i loro scopi, in particolare per estrarre carbonio dall'aria. Noi animali poi ci intromettiamo ancora di più, mangiando le piante (o altri animali che mangiano piante), oppure coltivandole per ottenere dei prodotti desiderati (Figura 15).

#### CITAZIONI

- [1] A. Barosso, G. Barosso e G. Chierchini, "Zio Paperone e l'acquamobile, I TL 833-A" 1971. [Online]. Available: <https://coa.inducks.org/story.php?c=I+TL++833-A>
- [2] Wikipedia, "Moto perpetuo" [Online]. Available: [https://it.wikipedia.org/wiki/Moto\\_perpetuo](https://it.wikipedia.org/wiki/Moto_perpetuo)
- [3] C. Barks, "The Village Blacksmith (Paperino fabbro del villaggio) W WDC 239-01" 1960. [Online]. Available: <https://coa.inducks.org/story.php?c=W+WDC+239-01>
- [4] Wikipedia, "Equipartition theorem" [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Equipartition\\_theorem](https://en.wikipedia.org/wiki/Equipartition_theorem)
- [5] Wikipedia, "Risonanza acustica" [Online]. Available: [https://it.wikipedia.org/wiki/Risonanza\\_acustica](https://it.wikipedia.org/wiki/Risonanza_acustica)
- [6] C. Palma, "Blackbody Radiation" [Online]. Available: [https://www.e-education.psu.edu/astro801/content/13\\_p5.html](https://www.e-education.psu.edu/astro801/content/13_p5.html)
- [7] Wikipedia, "Brownian ratchet" [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Brownian\\_ratchet](https://en.wikipedia.org/wiki/Brownian_ratchet)
- [8] T. Sanderson, "Maxwell: Thermodynamics meets the demon" [Online]. Available: <http://splasho.com/blog/essays/maxwell-thermodynamics-meets-the-demon/>
- [9] P. Eshuis, K. van der Weele, D. Lohse e D. van der Meer, "Experimental Realization of a Rotational Ratchet in a Granular Gas" *Physical Review Letters*, vol. 104, n. 24, p. 4, 2010
- [10] S. FOM, "Converting Brownian motion into work: Classical thought experiment brought to life in granular gas" 2010. [Online]. Available: <https://www.sciencedaily.com/releases/2010/06/100618103651.htm>
- [11] L. Hermans, "Dipping bird" *Europhysics News*, vol. 46, p. 41, 2015
- [12] F. Bagnoli, "Il diario segreto di Quo n. 5" *Scienze e Ricerche Magazine*, vol. 49, 2018
- [13] R. Cimino e G. (Perego, "Zio Paperone e i dollari vegetali I TL 826-B" 1971. [Online]. Available: <https://inducks.org/story.php?c=I+TL++826-B>