

STORIA DELLA FISICA

Il diavoletto di Maxwell

Lo scienziato scozzese James Clerk Maxwell (1831-1879) non credeva al secondo principio della termodinamica e alla sua asimmetria, così insolita rispetto alle leggi della dinamica. Era convinto che la naturale tendenza al disordine, alla dispersione dell'energia, non fosse un principio e propose un esperimento ideale per confutarlo.

Protagonista dell'esperimento il famoso *diavoletto*, un personaggio che fa le veci di un congegno microscopico, capace di operare a livello delle particelle di un gas. Il diavoletto è, per esempio, in grado di vedere gli atomi e di riconoscere i più veloci, così da poter guidare l'evoluzione nel tempo del gas e contravvenire al secondo principio della termodinamica.

Maxwell immagina di inserire il suo diavoletto in un contenitore pieno di gas diviso in due parti A e B, riempite di un gas identico e inizialmente alla stessa temperatura, da un setto privo di massa che può essere aperto e chiuso a piacimento.

Il secondo principio non vale più

Quando il diavoletto vede un atomo dirigersi velocemente, per esempio, dalla parte B alla parte A del contenitore, apre il passaggio, mentre lo tiene chiuso finché vede atomi muoversi in direzione contraria. Dopo un po' si misura un aumento di pressione nel contenitore A, che corrisponde a un accumulo di atomi veloci da una parte del contenitore e quindi a un aumento dell'ordine nel sistema, senza alcuna spesa di energia.

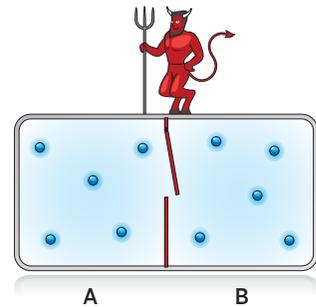
Il diavoletto, con una semplice azione selettiva, produrrebbe una variazione di temperatura tra due corpi senza alcuna spesa di energia, contravvenendo così al secondo principio della termodinamica e dando ragione al suo ideatore. Tramite la stessa azione selettiva sarebbe in grado di separare l'inchiostro dall'acqua o di far rientrare il profumo in una bottiglia aperta.

È proprio così?

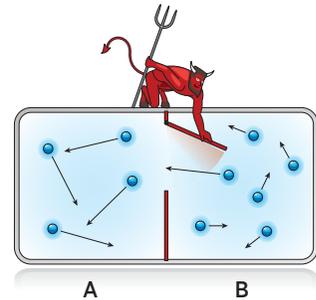
L'esperimento con il diavoletto di Maxwell è stato molto discusso, e tutti i tentativi di realizzare un dispositivo di questo tipo si sono scontrati immediatamente con una serie di problemi che suggeriscono la validità del secondo principio della termodinamica: un dispositivo in grado di rilevare le particelle e di decidere quale azione intraprendere è, di fatto, un computer che richiede energia per funzionare.

Oggi le nanotecnologie potrebbero rendere il diavoletto di Maxwell meno ideale di quanto non si immaginasse nel 1800: siamo in grado di costruire macchine minuscole, di dimensioni dell'ordine del nanometro, capaci di operare, quindi, su scala atomica. Tuttavia il secondo principio della termodinamica resta inattaccabile, perché anche una *nanomacchina* ha bisogno di energia per funzionare.

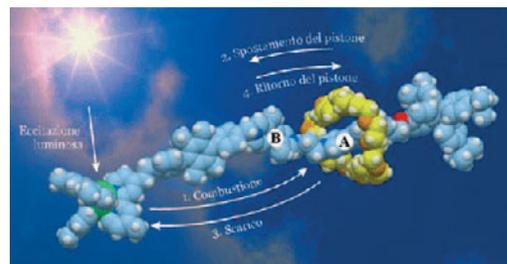
Immaginiamo poi che cosa complicata dovrebbe essere separare, all'interno di un gas, le particelle lente da quelle veloci, con quantità dell'ordine del numero di Avogadro. La nanomacchina dovrebbe essere in grado di distinguere le une dalle altre, oltre che di selezionarle, e avrebbe bisogno di una struttura e di un'organizzazione che si ritiene impossibile da raggiungere con pochi atomi. Le nanotecnologie rendono possibile qualcosa che all'epoca di Maxwell era solo immaginabile, tuttavia anche oggi l'Universo continua a scivolare verso il disordine, come accadeva 150 anni fa.



Il diavoletto di Maxwell è in grado di operare su scala atomica.



Il diavoletto di Maxwell fa ordine nel sistema.



Su progetto dell'Università di Bologna, nel 2006 è stato costruito «Sunny», un nanomotore piccolissimo capace di compiere 60 000 giri al minuto, alimentato a energia solare.

Vincenzo Balzani / Università di Bologna

DOMANDA Di quanti atomi dovrebbe essere formato un diavoletto di Maxwell alto qualche nanometro? Fai una stima considerando che un atomo di idrogeno ha dimensioni dell'ordine di 10^{-10} m.

LETTERATURA

Le prime navi a vapore

A volte, la sera, dopo il tramonto del sole, nell'ora in cui la notte si unisce col mare e il crepuscolo agita con una specie di terrore i flutti, si vedeva entrare nella piccola rada di Sant-Simpson, sul minaccioso ritmo dell'onde, una massa informe, mostruosa, che fischiava e sputava una cosa orrenda, che rantolava come una bestia e fumava come un vulcano, una specie d'idra che perdeva bava tra la schiuma, trascinava della nebbia, e si avventava nella direzione della città con uno spaventoso batter di pinne e con fauci da cui scaturivano fiamme. Questa era la Durande.

(Victor Hugo, *I lavoratori del mare*, 1866)

Battelli infernali

Nel romanzo di Hugo la *Durande* è una delle prime navi a vapore che, alla fine degli anni Venti dell'Ottocento, collegava tra loro le isole della Manica. In questo brano ci viene presentata a tinte fosche, come un'idra informe che rantola, fuma e sputa tra la schiuma del mare. Un mostro terrificante e orrendo, che entra nella rada fischiando e fiammeggiando, tra fumi e rumori di pale che percuotono le onde. Tale, in effetti, doveva apparire una nave a vapore a chi, allora, era abituato alle silenziose ed eleganti navi a vela.

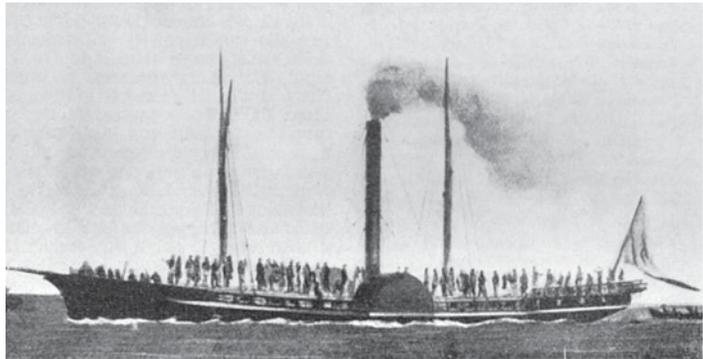
Nella finzione romanzesca la *Durande* viene soprannominata «Devil Boat», battello del diavolo, a testimonianza di una reale ostilità che all'epoca aleggiava intorno alle innovative navi a vapore. Molti erano perplessi e dubbiosi sull'uso delle nuove macchine, che andavano a inserirsi in un ambiente già tecnologicamente avanzato come quello della navigazione a vela.

L'efficienza della vela

Le navi a vela erano infatti efficientissime, e i navigatori talmente esperti nella conoscenza dei venti che, per i tratti lunghi, erano assai più affidabili e puntuali delle prime navi a vapore. Le rotte oceaniche sfruttavano venti e correnti regolari ormai note e sicure, che consentivano di effettuare grandi traversate in tempi relativamente ridotti. Inoltre le navi a vapore avevano bisogno di spazio per trasportare il carbone e si dimostravano sconvenienti come battelli commerciali, per i quali invece lo spazio è preferibilmente destinato alle merci.

Il vapore si afferma

Così come accadde alla *Durande* di Hugo, le navi a vapore con propulsione a pale si affermarono inizialmente su tratte brevi, dove non occorre grandi riserve di carbone a bordo e la scarsa forza che il motore riusciva a imprimere alle grandi pale non penalizzava troppo i tempi di percorrenza. In seguito i motori furono perfezionati e fu introdotta la propulsione a elica, che consentì un impiego più ampio di queste navi. Inoltre, nel novembre del 1869 fu aperto il Canale di Suez, che eliminava il problema della circumnavigazione dell'Africa e consentiva alle navi a vapore di spingersi fino all'Oceano Indiano, vincendo la concorrenza delle navi a vela.



La *Ferdinando I*, varata a Napoli nel 1818, fu la prima nave a vapore del Mediterraneo.

Archivio P. Berti



Il *Cutty Sark* è un clipper inglese, varato 1869 per il trasporto del tè dall'Oriente.

Allan Charles Green

DOMANDA Quali parole del brano di Hugo caratterizzano una nave a vapore rispetto a una nave a vela?

CON GLI OCCHI DI UN FISICO

L'automobile

Motori a vapore

Nella seconda metà del XVIII secolo, l'ingegnere militare francese Joseph-Nicolas Cugnot ricevette l'incarico di progettare e realizzare un carro militare che si muovesse senza trazione animale, con un motore a vapore. Dopo una serie di prototipi, il primo dei quali datato 1769, vide la luce un veicolo a tre ruote, noto come «carro di Cugnot», lungo oltre 7 metri e azionato da un motore di 50 000 cm³ di cilindrata, in grado di raggiungere la velocità di 4 km/h. Era sicuramente un'innovazione tecnologica importante, ma non era molto pratica, visto che ogni 15 minuti bisognava fermarsi per ravvivare il fuoco di alimentazione della grossa caldaia, sprovvista di serbatoio. L'accensione del motore a vapore non era complicata, ma richiedeva tempo. La caldaia andava portata alla giusta temperatura per poter produrre il vapore ad alta pressione necessario a far muovere i pistoni, e ciò richiedeva un preriscaldamento manuale. I ricchi possessori delle prime automobili avevano chi pensava a questa incombenza: i loro autisti erano infatti anche i «fuochisti» (in francese *chauffeur*) che all'occorrenza preparavano la caldaia portandola alla temperatura di funzionamento. Il termine *chauffeur* è entrato talmente nell'uso che oggi è usato come sinonimo di autista. Da quegli anni inventori di ogni tipo lavorarono in ogni angolo del mondo ai progetti più disparati, alle soluzioni più originali, nel tentativo di mettere a punto un motore che avesse sempre meno inconvenienti e prestazioni sempre più elevate.



robby

Il carro di Cugnot è considerato il primo veicolo mosso da un motore termico, precedendo di oltre un secolo la comparsa delle automobili sulle strade.

PAROLA CHIAVE **Asimmetria**

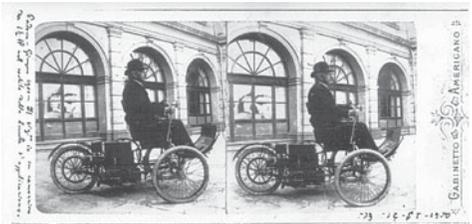
DOMANDA Sin dalla costruzione dei primi motori furono adottate strategie per raffreddare gli organi meccanici. Perché non è possibile utilizzare la quantità di calore persa attraverso lo scarico e quella prelevata dalle parti raffreddate per azionare nuovamente il motore senza ulteriore consumo di carburante? Spiega in 5 righe perché questa soluzione manifesta un'asimmetria della natura.

Motori a combustione interna

Per tutto il XIX secolo la sperimentazione fu ricchissima: furono ideati moltissimi tipi di motore, basati sui più svariati cicli termodinamici, e perfino motori elettrici. Questi motori erano alimentati a gas, a petrolio, ad alcol, a benzina, oltre che ad acqua. Le automobili non avevano una fisionomia propria e assomigliavano piuttosto a carrozze dove al posto dei cavalli veniva usato un motore. Erano per lo più prodotti artigianali, l'una diversa dall'altra, nella ricerca di strategie sempre più efficienti e di motori sempre più veloci e pratici da usare. Verso la fine del secolo, tuttavia, i tentativi cominciarono a convergere intorno alle soluzioni più fortunate.

Una di esse segnò una vera svolta nella storia dell'automobile: nel 1876 l'ingegnere tedesco Nikolaus August Otto sviluppò un motore a combustione interna a 4 tempi, alimentato a gas, destinato ad avere un immenso successo. I moderni motori a benzina sono basati sullo stesso ciclo termodinamico, composto da 4 fasi successive: il combustibile vaporizzato viene prima di tutto immesso nel cilindro e poi viene compresso in un volume più piccolo per azione di un pistone; una scintilla ne provoca l'accensione e in seguito alla combustione si scalda e si dilata rapidamente; successivamente il pistone preme sui gas combusti facendoli fuoriuscire da un'apposita apertura.

Nello stesso anno fu ideato e costruito il primo motore a due tempi, antenato dei motori usati nei moderni ciclomotori, e nel 1892 Rudolf Diesel brevettò il motore a combustione interna che porta il suo nome, ancora oggi molto utilizzato, soprattutto nei mezzi pesanti. Alla fine del 1800 si stavano delineando i presupposti per la costruzione di veicoli con una propria identità, del tutto nuovi rispetto ai carri e ai carretti azionati a motore del primo periodo.



Museo Enrico Bernardi Padova

Il 5 agosto 1882 l'italiano Enrico Bernardi brevettò la motrice *Pia*, un carrozino a tre ruote con motore a combustione interna alimentato a benzina.

PAROLA CHIAVE **Entropia**

DOMANDA A partire dal calore prodotto dalla combustione del carburante un motore è in grado di far compiere un moto ordinato a un'automobile. Che cosa accade all'entropia dell'Universo? Motiva la risposta in 5 righe.

Un importante collaudo

La *Motorwagen* di Karl Benz è la prima automobile ufficiale della storia, la cui data di nascita viene fatta coincidere con il giorno in cui fu presentata la domanda per il suo brevetto: il 29 gennaio 1886. Primo veicolo dotato di motore a combustione interna, era una via di mezzo tra una carrozza e un grosso triciclo e aveva una massa e un ingombro decisamente inferiori a quelli delle sue coetanee vetture a vapore. Oltre a ciò, la vettura di Benz aveva altre rivoluzionarie dotazioni, quali un sistema di raffreddamento ad acqua, un telaio a tubi d'acciaio, un motorino di avviamento elettrico e un carburatore che vaporizzava la benzina. Nella *Motorwagen* la famiglia Benz aveva investito risorse e speranze, ma il veicolo non sembrava riscuotere il successo desiderato: le sue potenzialità sembravano perdersi tra i numerosi prototipi della concorrenza. Finché non intervenne Bertha Benz, la moglie di Karl, che si fece protagonista di una sorprendente impresa, attirando l'attenzione di un numeroso pubblico. Con la scusa di andare a trovare la madre insieme a due figli di 13 e 15 anni, la donna prese la vettura senza informare il marito e senza il permesso delle autorità, e percorse gli oltre 100 km che la separavano dall'abitazione materna. Nessuno aveva mai fatto un viaggio così lungo a bordo di un mezzo a motore, e possiamo immaginare le difficoltà incontrate nel reperire il carburante (una benzina allora in vendita nelle farmacie) e nel trovare soluzioni agli inevitabili piccoli guasti meccanici occorsi durante il tragitto. Bertha impiegò un intero giorno per raggiungere la destinazione e altrettanto per tornare indietro: la *Motorwagen* aveva dunque guadagnato, oltre che una proficua pubblicità, anche un importante collaudo. Le migliorie apportate in seguito dovettero molto all'esperienza acquisita durante quel lungo viaggio.



Con il brevetto numero 37435 del 29 gennaio 1886 la *Motorwagen* di Karl Benz è considerata la prima automobile della storia.

Alan Charles Green

Il trionfo dell'automobile

Le automobili erano ancora beni di lusso, prodotte una alla volta, quando lo statunitense Henry Ford fabbricò le prime vetture in serie nella sua Ford Motor Company. Il nuovo modello produttivo della catena di montaggio permise di costruire un'auto semplice e relativamente economica, la Ford T, un'utilitaria di colore nero prodotta in 15 milioni di pezzi dal 1908 al 1927.

Furono gli anni d'oro dell'automobile: in tutto il mondo aprivano piccole e grandi case costruttrici, che nel complesso proponevano alla clientela una vasta gamma di modelli di auto di tutti i tipi, ancora non assestati sullo standard omogeneo al quale siamo abituati oggi. Ecco perché alcune case riuscivano a emergere sulle altre, grazie a tecnologie originali e carrozzerie eleganti. In questo si distinse particolarmente l'Italia con nomi quali Bertone, Ghia, Pininfarina, Zagato e molti altri, creatori di linee apprezzate in tutto il mondo.

Dai primi del Novecento, infatti, le automobili cominciarono ad assomigliare sempre meno alle carrozze e nacque l'esigenza di dotarle di carrozzerie originali: la produzione si differenziò e, accanto alle case automobilistiche, nacquero delle vere e proprie carrozzerie. Per esempio, la Ford T era stata «vestita» con successo dalla carrozzeria francese *Torpedo*, chiusa sui fianchi. Lo sviluppo della carrozzeria andò nella direzione di telai sempre più coperti, fino ad arrivare alle berline dei nostri giorni.

Un celebre manifesto pubblicitario firmato da Marcello Dudovich reclamizza la Fiat Balilla, prima auto di massa italiana, prodotta negli stabilimenti di Torino negli anni Trenta.



PAROLA CHIAVE

Macchine termiche

DOMANDA Perché l'attrito degli organi meccanici di un'automobile riduce il rendimento effettivo del motore?