

XLI° congresso nazionale AIF - Casarano (Lecce) 23 -26 ottobre 2002

« *La Fisica in gioco* »

## **Un Atto di Fisica o l'Entropia Giocosa**

*C. Agnes (Presentatore), M. D'Anna (Commentatore), F. Herrmann (Insegnante),  
P. Pianezzi (Studente)*

### **Prologo**

Leccezione : con questo gioco di parole voglio introdurre l'anomala meta-lezione di Lecce, cioè presentare quello che in effetti è un contributo al Congresso, ma che attraverso la finzione teatrale si propone di trasformare la sala del seminario in una aula di lezione, nella quale quindi compaiono insegnanti-attori ed insegnanti-spettatori, insegnanti-professori ed insegnanti-studenti.

Non a caso quindi ciò avviene all'interno di un Seminario dedicato ai molteplici legami tra comunicazione teatrale e comunicazione scientifica, ma anche il tema da noi scelto, come insegnare la fisica dei fenomeni termici, si inserisce criticamente tra storia della scienza e pratica didattica. Di questo complicato intreccio voglio accennare e seguire solo il filo sottile dei rapporti tra la elaborazione didattica dei risultati della ricerca scientifica ed i processi di sistemazione interni alle discipline nel loro sviluppo storico.

Il problema secondo me nasce dalla natura particolare del progresso scientifico, che avviene per successivi ampliamenti, senza mai cancellare o rinnegare i risultati precedenti. Infatti questi grazie al metodo scientifico conservano la loro validità, anche se parziale e particolare. D'altra parte la ricerca è così fortemente motivata dal nuovo che sono rare le pause di riflessione sui risultati acquisiti.

In questo modo però strutture di pensiero e di apprendimento che il progresso ha reso obsolete continuano a sopravvivere, sfortunatamente quasi sempre nella pratica didattica. Questo accade in conseguenza della distanza tra le nuove scoperte, che obbligatoriamente avvengono ai confini della disciplina, ed il nucleo didattico della medesima che per i motivi prima accennati rimane quasi immutato. Il ricercatore insegnerà in modo diverso i nuovi risultati, nei quali è particolarmente competente, ma insegnerà il resto della disciplina esattamente come l'ha imparato, senza elaborarlo nella prospettiva delle future scoperte; così si spiega la grande inerzia delle strutture didattiche.

Come risulterà immediatamente evidente, la nostra proposta non segue l'evoluzione storica, ma cerca di recuperare la semplicità della descrizione fisica, risparmiando allo studente di ripercorrere le vie talvolta tortuose che hanno condotto a tali risultati.

### **Scena prima**

*(Uno studente (S), con i piedi sul banco, mangia una banana; suona la campanella; entra l'insegnante (I))*

I: Buon giorno

*(S toglie in fretta i piedi dal banco, nasconde la banana e prende un quaderno dalla cartella)*

I: Oggi cominciamo con un nuovo argomento. Ci occupiamo di termologia.

S: Termologia?

I: Sì, termologia. Ha a che fare con il calore.

S: Con il calore, ma ... anche con il freddore?

I: No, il freddore non esiste. C'è solo il calore.

S: E ma allora il freddo?

I: Il calore riguarda caldo e freddo.

S: (*perplesso*) Ah.

I: In fisica si usano le grandezze fisiche, vuol dire che descriviamo il mondo quantitativamente, con i numeri. Conoscete tutti una grandezza con la quale descrivere il caldo e il freddo.

S: Chiaro. La temperatura.

I: Giusto. La temperatura. (*scrive sulla lavagna: temperatura*) Come simbolo usiamo la lettera greca  $\vartheta$  (*scrive:  $\vartheta$* ) E qual è l'unità di misura della temperatura?

S: I gradi.

I: Solo gradi?

S: No, c'è ancora qualcosa, gradi centigradi o una cosa così.

I: Corretto, abbreviato così. (*scrive: °C.*) Con una sola grandezza però non si può ancora fare fisica. La fisica si occupa sempre delle relazioni tra varie grandezze. Abbiamo bisogno di un'altra grandezza con cui descrivere l'essere caldo e l'essere freddo. Anche questa la conoscete già. Ci dice quanto calore c'è in un oggetto, è contenuto in un oggetto. Per così dire la quantità di calore.

S: Quantità di calore?

I: Per esempio, in una borsa dell'acqua calda c'è del calore.

S: Non necessariamente.

I: Giusto, giusto! Non necessariamente... ma allora quando?

S: Beh, l'acqua deve essere calda.

I: Esatto. Ma non basta. Posso immaginare una borsa dell'acqua che contenga acqua caldissima, ma senza contenere molto calore.

S: Sì va bene, ma allora non c'è dentro acqua o ce n'è pochissima.

I: Giusto... allora, questa è la nostra nuova grandezza. I fisici danno spesso dei nomi alle grandezze, per non confonderle con qualcos'altro. Il calore di cui abbiamo parlato viene detto entropia.

S: Entropia?

I: Sì, entropia. (*scrive: Entropia*) L'abbreviazione, cioè il simbolo, è S. (*scrive S*) Per semplificare diamo un nome alla sua unità di misura: è il Carnot, abbreviato Ct. (*scrive: Carnot (Ct)*) Quanto vale 1 Ct lo vedremo più tardi... Bene, vediamo se avete capito. Ora farò delle domande dove c'è sempre la parola entropia. Ogni volta che dico "entropia" voi pensate semplicemente: "calore", come diceva la nonna. Allora: qui ho dell'acqua fredda: quindici gradi..., qui dell'acqua calda, quarantotto gradi (*tiene immer-so il termometro*), la quantità è la stessa. In quale recipiente c'è più entropia?

S (*indicando uno dei bicchieri*): In quello dove c'è l'acqua calda.

I: Ma certo! Ora facciamo in un altro modo (*prende una scodella con dell'acqua ...*). L'acqua ha la

stessa temperatura (...e ne versa poca in un bicchiere e molta nell'altro). Adesso in quale c'è più entropia?

S (indicando uno dei bicchieri): Dove c'è più acqua.

I: Giusto. Allora... Aspettate... Immaginate che in quest'acqua ci siano 12 Ct. Ne verso un terzo nell'altro bicchiere. Quanti sono rimasti in questo bicchiere?

S: Otto

I: Otto Carnot. Giusto. E dove sono rimasti gli altri 4?

S: Beh, nell'altro.

I: Sì, giusto.

(buio)



*Commentatore:* Questa era la prima ora di lezione del corso. L'obiettivo era presentare l'entropia come grandezza estensiva, che può essere immagazzinata nei corpi e per la quale si può dire in questo corpo ce ne è di più, o in questo corpo ce ne è di meno. Un altro obiettivo era di presentare la distinzione tra temperatura come grandezza intensiva ed entropia come grandezza estensiva.

Certamente per un fisico, per un docente di fisica, può sembrare estremamente azzardato iniziare un corso di termologia parlando agli studenti di entropia; questa scelta può suscitare non poche perplessità.

Forse, per capire il senso di questa scelta, può essere utile considerare qualche analogia: proviamo ad immaginarci che cosa vorrebbe dire un corso di elettricità in cui non sia menzionata la carica elettrica, o in cui non si parli di correnti elettriche. Oppure un corso di meccanica in cui non si parli di quantità di moto o in cui non si faccia riferimento alle forze.

Esattamente lo stesso vale nel caso della termologia! L'entropia è la protagonista, è l'attore principale della termologia; perciò in questo approccio è stato scelto di mettere l'entropia subito al centro dell'attenzione fin dall'inizio!

In che modo? Sicuramente non nel modo con cui noi l'abbiamo appresa nel corso del nostro curriculum di studio, ma molto più semplicemente, in un modo quasi immediato, nel suo significato di grandezza estensiva che è in larga misura contenuto nella parola "calore" come viene impiegata nel linguaggio comune, quindi nel linguaggio dei nostri allievi.

## Scena seconda

*(luce)*

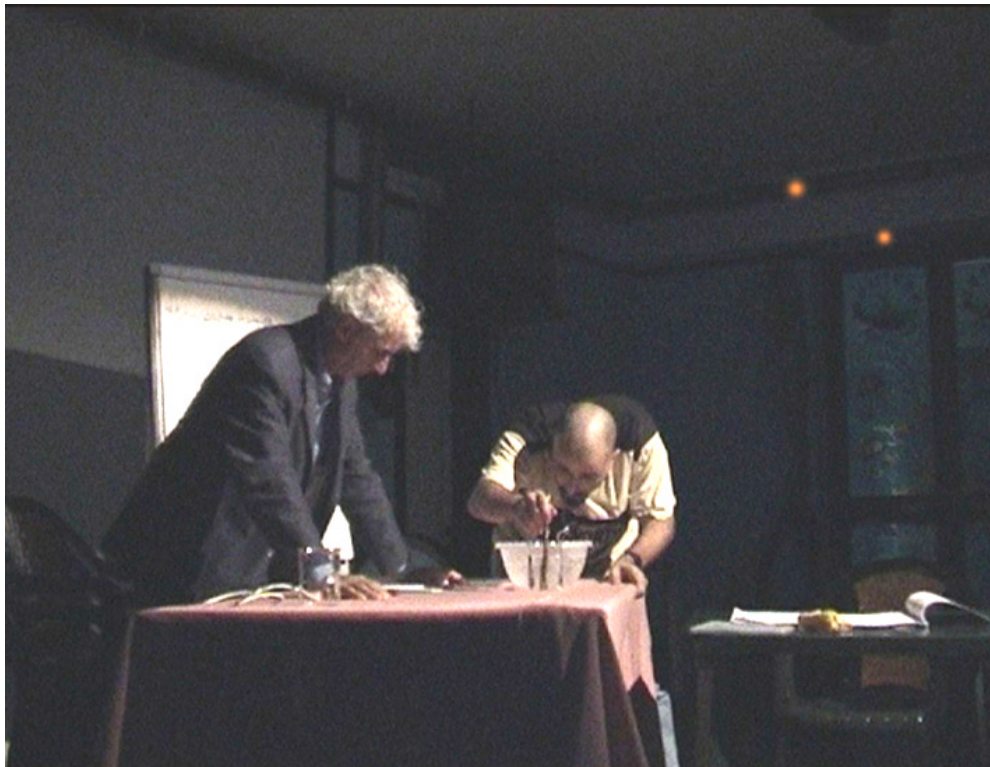
I: Bene, ora vogliamo studiare a fondo alcune proprietà dell'entropia. Io farò sempre delle domande. Non dimenticate: ogni volta che dico entropia voi traducete mentalmente in calore.

*(I mette una scodella sul tavolo)*

S: Cos'è quello?

I: Una scodella. Con acqua di rubinetto, fredda. Qui dentro *(mostra un bicchiere)* c'è dell'acqua calda. Vuoi misurare per favore?

S: Se proprio devo... *(si alza, misura le temperature)*... qui 18 gradi e di qua 65 gradi.



I: Bene. Mi potete dire cosa succede se metto il bicchiere qui dentro?

S: Beh... l'acqua si raffredda?

I: Quale?

S: Quella nel bicchiere.

I: Sì. E l'acqua nella scodella?

S: Quella ... diventa più calda, però solo un po'.

I: Perché solo un po'?

S: Perché nella scodella ce n'è molto di più.

I: Bene, ora state attenti. Voglio una spiegazione di quanto abbiamo osservato. E quando chiedo una spiegazione, penso sempre a: cosa fa l'entropia? Quindi in questo processo, cosa fa l'entropia?

S: Va dall'uno all'altro.

I: Cosa intendi quando dici dall'uno all'altro?

S: Da quello più piccolo a questo più grande.

I: Ahà. Quindi abbiamo una regola: l'entropia va sempre dal piccolo al grande. D'accordo?

S: Ma no, non ha senso.

I: Come no?

S: Da quello caldo a quello freddo.

I: Giusto, è così. Annotiamoci questa regola (*scrive: l'entropia fluisce spontaneamente dai corpi caldi a quelli freddi*).

S: Ma quello caldo non resta caldo.

I: Cosa fa?

S: Si raffredda.

I: Si raffredda sempre di più?

S: No, solo fino a quando le temperature sono uguali.

I: Sì! Questo stato viene detto equilibrio termico (*scrive: equilibrio termico*). Vedete: l'entropia fluisce solo fintanto che c'è una differenza di temperatura. Quindi la differenza di temperatura è una specie di spinta per la corrente di entropia. (*scrive: Differenza di temperatura è una spinta per la corrente di entropia*)

(buio)

*Commentatore:* In questa seconda ora di lezione ci sono stati presentati gli aspetti di base che accompagnano i trasferimenti di entropia: prima di tutto l'entropia è una grandezza che può essere trasferita, che può passare da un corpo ad un altro, come tante altre grandezze che gli studenti hanno già precedentemente incontrato in altri capitoli del corso di fisica; in secondo luogo il ruolo della temperatura, o meglio delle differenze di temperatura in questi trasferimenti, come spinta per la corrente di entropia,

quindi un'indicazione concreta per qualcosa che può essere osservato in modo diretto nelle differenti situazioni sperimentali.

Anche qui vale la pena di sottolineare come anche negli altri campi vi sono delle situazioni analoghe: pensiamo ad esempio all'aria che fluisce spontaneamente da un luogo in cui la pressione è elevata ad un luogo in cui la pressione è minore; oppure alla carica elettrica che fluisce dal potenziale (elettrico) più elevato a quello più basso; o per gli aspetti meccanici alla quantità di moto che può essere trasferita da un corpo a velocità più elevata a un corpo a velocità più bassa; e persino nelle reazioni chimiche è possibile riconoscere la differenza di potenziale (chimico) come la spinta che mette in moto la reazione. Viene quindi rafforzato il ruolo della temperatura quale potenziale termico e soprattutto le differenze di temperatura vengono riconosciute come la spinta al trasferimento (conduttivo) di entropia: fintanto che vi è una differenza di temperatura fra i due corpi in contatto vi è un trasferimento spontaneo di entropia; a poco a poco la differenza di temperatura diminuisce e con essa la spinta al trasferimento: quando questa si annulla è stata raggiunta la situazione di equilibrio: i due corpi hanno la medesima temperatura.

### **Scena terza**

*(luce)*

I: Nelle ultime ore abbiamo imparato che l'entropia fluisce spontaneamente...

I e S *assieme*: ... dai corpi caldi a quelli freddi.

I: Esatto. Ma ora immaginate che qualcuno voglia che l'entropia vada nella direzione opposta, risalendo la temperatura per così dire.

S: E perché?

I: Possiamo supporre che qualcuno abbia interesse a farlo. Se inventassimo un apparecchio che ci riesce, forse potremmo guadagnare molti soldi.

S *(entusiasta)* : Sìiii...

I: Qualcuno sa come fare?

S *(fa spallucce)*

I: In fondo è un problema che conosciamo già. Qualcosa va spontaneamente da qui a là e noi vogliamo che vada da là a qui. Ad esempio l'aria va da qui a là se qui la pressione è alta e là è bassa. Pensate a un pneumatico d'auto. L'aria esce da sola. Se vogliamo che entri nel pneumatico, cioè dalla pressione più bassa a quella più alta, dobbiamo servirci di uno strumento ...

S: una pompa d'aria!

I: Bravo, giusto! Ora, se vogliamo che l'entropia vada dal freddo al caldo, abbiamo bisogno di una...?

S: una pompa ... di entropia.

I: Bravo! Se la inventassimo noi, potremmo fare un bel po' di soldi. Purtroppo qualcuno ci ha preceduto.

S *(deluso)*: oh... peccato!

I: Tutti voi avete una pompa di entropia a casa vostra.

S: Io no!

I: Sì! È in cucina...

S: In cucina? Aaaahhh... il frigorifero.

I: Sì, la macchina nera nel frigorifero. Da dove a dove pompa l'entropia?

S: Da dentro a fuori.

I: Sì. Tra l'altro il termine tecnico non è pompa di entropia ma pompa di calore. Da dove entra l'entropia nella macchina?

S: Mah, lì dentro da qualche parte.

I: Sì, sì, ma dove di preciso?

S: Mah, probabilmente dove ci sono quei tubi strani.

I: Esatto. E da dove esce?

S: Dietro ci sono anche dei tubi, sarà da lì.

I: Sì.

*(buio)*

*Commentatore:* Questa terza scena si occupa della pompa di calore, quindi di un dispositivo che in qualche modo riesce a far fluire l'entropia contro la sua direzione naturale: cioè di un dispositivo che riesce a far passare l'entropia dalle temperature più basse a quelle più alte, ossia dal freddo al caldo.

Anche in questo caso può essere utile sottolineare come per gli studenti non si tratti di una situazione né nuova né inusuale; pensiamo ad esempio alla pompa d'aria: tutti hanno certamente fatto uso di un compressore; se pensiamo all'ambito elettrico tutti conoscono oggetti come la dinamo o la batteria; un motore a sua volta può essere visto come una pompa meccanica per la quantità di moto. Da questi semplici esempi emerge un aspetto importante che nel corso verrà sviluppato più avanti: tutti questi dispositivi, che in un qualche modo lavorano contro la tendenza naturale, contro la spinta naturale del processo spontaneo, necessitano anche di essere alimentati, necessitano cioè di un apporto di energia. Tutti sanno che il frigorifero, per funzionare, va collegato alla rete elettrica.

#### **Scena quarta**

*(luce)*

*(S con lo sguardo assente)*

I *(seduto)*: Vedete questo libro?

S *(annoiato)*: Sì, e allora?

I: Quanta entropia c'è dentro? Quanta entropia possiamo estrarre?

*(S guarda annoiato I)*

I: Oggi non siete molto lucidi. Avete notato almeno che ho posto due domande?

S: Perché due? Era una sola.

I: *(accentua)* Primo: quanta entropia c'è dentro e *(accentua)* secondo: quanta entropia possiamo estrar-

re.

S: Ma è la stessa cosa! Se nella bottiglia c'è mezzo litro di birra posso bere solo mezzo litro di birra..

I: Ben detto. Eppure... conosco una cosa da dove si può estrarre più di quanto contiene...

S: Aaaahhh! Il conto in banca! L'ho fatto ieri. Avevo ancora 80 Euro e ne ho prelevati 100.

I: E adesso?

S: E adesso... ho 20 Euro di debito.

I: Venti Euro di soldi negativi. Allora, com'è con l'entropia?

S: Non lo so. Nessuna idea.

I: E come potremmo fare un esperimento?

S: Dovremmo pompar fuori tutta l'entropia.

I: Sì. Purtroppo avremmo bisogno di una pompa di calore molto efficiente e molto costosa. Ma altra gente ci ha già provato prima di noi. Gli scienziati e i tecnici tentano da quasi 150 anni di stabilire nuovi record con le pompe di calore. E così facendo hanno osservato una cosa molto strana. Anche con le migliori pompe di calore non si riesce a scendere al di sotto di una certa temperatura, per quanto a lungo si pompi. Questa temperatura è di meno duecentosettantatre gradi. Adesso, mi sapete spiegare da cosa può dipendere?

S: Beh, lì non c'è più dentro entropia, e se non ce n'è più non se ne può neanche togliere dell'altra.

I: Ahà! Quindi avremmo risposto a entrambe le domande. Sapremmo quanta entropia c'è dentro, se l'avessimo misurata. *(I si alza)* E soprattutto: sappiamo che non esiste l'entropia negativa.

*(scrive:  $A -273\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ogni corpo contiene l'entropia  $S = 0\text{ Ct.}$ ) *(I si siede)**

I: Vedete: anche la temperatura ha un valore minimo, appunto  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ora sarebbe ragionevole...

S *(sovrapponendosi)*: ... scegliere quello come zero della temperatura.

I: Giusto. Ed è quello che è stato fatto. Questa scala di temperatura si chiama scala di temperatura assoluta. E quando si dà una temperatura in questa scala, l'unità di misura si chiama Kelvin.

*(buio)*

*Commentatore*: Questo era il III° principio della termodinamica; non semplificato, non banalizzato. Il contenuto essenziale è totalmente presente: *l'entropia non può assumere valori negativi*. Può forse risultare utile ricordarci come noi, studiando fisica, abbiamo incontrato il III° principio nella sua formulazione tradizionale: *Non è possibile raggiungere lo zero assoluto* attraverso un numero finito di cicli di una qualsiasi macchina termica (di una pompa di calore). Possiamo chiederci se una tale formulazione ci illumini in modo più profondo sul contenuto fisico del III° principio rispetto alla formulazione semplice, diretta che l'entropia non può assumere valori negativi.

Cosa diremmo, sempre giocando con le analogie, se volessimo per esempio evacuare un recipiente aspirando l'aria? Come formuleremmo la situazione? Probabilmente che non è possibile togliere tutta l'aria, ossia che non è possibile ottenere il vuoto assoluto. Oppure pensiamo di voler svuotare una vasca da bagno servendoci di un bicchiere: anche in questo caso dovremo concludere che è impossibile svuotare completamente la vasca con un numero finito di movimenti. Il messaggio fondamentale del III° principio è che l'entropia non può assumere valori negativi.



## Scena quinta

*(luce)*

I *(seduto)*: Immaginate che sia freddo e vogliamo riscaldare il locale.

S: Entropia dentro.

I: Giusto, entropia dentro. Come facciamo?

S: Aumentiamo il riscaldamento.

I: E da dove viene l'entropia?

S: Dal calorifero.

I: E come ci arriva al calorifero?

S: Eh, con l'acqua in un qualche modo.

I: Sì. E come ci è arrivata all'acqua?

S: Giù in cantina c'è un coso, una caldaia.

I: Giusto. E da dove viene l'entropia? Potete essere più precisi?

S: Beh, dentro la caldaia c'è una fiamma.

I: Ahà. E l'entropia viene da lì? Ma come è arrivata alla fiamma?

S *(fa spallucce)*: Viene fatta lì.

I: Molto bene. *(Si alza)* Viene prodotta nella combustione, in una reazione chimica.

*(scrive: L'entropia viene prodotta: – in una reazione chimica.) (I si siede)*

I: Avremmo potuto riscaldare il locale anche in altro modo?

S: Con il camino.

I: Sì, va bene. Però è praticamente la stessa cosa del riscaldamento. Almeno per quanto riguarda l'origine dell'entropia. Ma ci sono anche impianti di riscaldamento che funzionano senza reazioni chimiche.

S: Quelli elettrici?

I: Esatto. Da dove viene l'entropia in questo caso?

S: Eh, dal radiatore.

I: Sì, ma dentro cosa c'è? *(I si alza)*

S: Dei fili che si riscaldano.

*(scrive: – quando una corrente elettrica attraversa una resistenza)*

I *(si sfrega le mani, prima lentamente poi vigorosamente)*: C'è ancora un altro modo di produrre entropia.

S: Con l'attrito...

I: Giusto. *(scrive: – per attrito) (I si siede)*

S: Molto interessante.

I: Calma, adesso diventa ancora più interessante.

S (*ironico*): Ah sì?

I: Immaginate: vogliamo raffreddare qualcosa, non riscaldarlo. Per esempio: abbiamo una tazza di tè che è troppo calda. Cosa facciamo?

S: Aspettiamo.

I (*esitante*): Ssssì... e cosa succede all'entropia?

S: Esce fuori.

I: Fuori? Dove?

S: Nel locale.

I: Ma allora il locale dovrebbe riscaldarsi.

S: E sì.

I: Ah sì? Ma non lo notiamo.

S: Beh, ma è così grande che il calore... ehm... l'entropia si distribuisce.

I: Va bene. Ma non potremmo sbarazzarci dell'entropia nel tè in un altro modo?

S: Mettiamolo in frigo.

I: Ahà. E poi cosa succede all'entropia?

S: Beh, esce da dietro.

I: Giusto. ... quindi finora mi avete solo citato dei metodi, dove l'entropia del tè va a finire da qualche altra parte. Prima era nel tè, dopo è nel locale. (*breve pausa*) Ma prima, con il riscaldamento, era tutta un'altra cosa. L'entropia che era portata nel locale non veniva tolta da un'altra parte, veniva prodotta. Prima non c'era, poi c'era. Non si potrebbe fare la stessa cosa per raffreddare? Facendo sparire l'entropia del tè, non portarla da un'altra parte, farla sparire, definitivamente.

S: Noo, non si può.

I: E perché no?

S: Perché no.

I: Ma perché no?

S: Perché no. Tutti sanno che non è possibile!

I: Va bene. Hai ragione. È esattamente così. (*Si alza*)

(*scrive: l'entropia può essere prodotta, ma non annichilata*) (*Si siede*)

I: Probabilmente non vi siete resi conto di quanto incredibile sia questa affermazione.

S: Perché incredibile?

I: Gli scienziati hanno tentato per più di 100 anni di dimostrare che non è vera. Hanno tentato di tutto per aggirare la natura. Ma senza successo.

S (*si nota che comincia a ragionare*) Aaahhh... ma allora... allora vuol dire che la Terra dovrebbe riscaldarsi sempre di più... l'effetto serra...

I: Ahà, adesso sembra diventare interessante. Comunque con l'effetto serra non ha niente a che fare.

S: Come mai no?

I: È vero che sulla Terra viene prodotta sempre più entropia, con tutti i processi immaginabili, soprattutto con processi di combustione. Ma a dire il vero è anche peggio: ci arriva in continuazione entropia dal Sole, con la luce. D'altro canto per la Terra questo non è un problema: la terra cede in permanenza entropia con la radiazione infrarossa che emette. Con questa radiazione tutta l'entropia se ne va: quella ricevuta dal Sole e quella prodotta. È risolto il problema?

S: No, no. Allora lo spazio dovrebbe diventare sempre più caldo.

I: Vedete? Adesso siamo arrivati agli argomenti veramente interessanti. Della questione dell'entropia dell'universo si occupano oggi gli astrofisici e i cosmologi. Ma il problema non è ancora risolto.

S: Ah...

I: Questa affermazione ha però un'altra conseguenza singolare: ci dice in che direzione scorre il tempo.

S: Il tempo? Ma in avanti ovviamente.

I: Sì, sì, ma perché ogni tanto non dovrebbe andare all'indietro?

S: All'indietro? Ma cosa vuol dire?

I: Allora, immaginate: abbiamo ripreso qualcosa e ora vi mostro il filmato, senza sonoro. Però non vi dico se ve lo mostro nella direzione giusta o al contrario. Sareste in grado di capirlo, voglio dire solo considerando il filmato?

S: Sì... eh... no... cioè sì. O no, dipende.

I: Esattamente, dipende! Ma da cosa dipende?

S: Beh, a volte si riesce a volte no.

I: Quando si riesce e quando no?

S: Quando non si muove niente, non si può.

I: Sì giusto, ma a volte non si può neanche quando qualcosa si muove.

S: Ma... se il movimento è regolare.

I: Può essere. Ma non è quello l'essenziale. Immagina: vediamo una palla che sale, gira e torna giù. Come sarebbe visto al contrario?

S: Eh... la palla all'inizio sale, . . . poi gira e . . . torna giù.

I: Ahà, quindi uguale a prima. Adesso immagina una torre di cubetti di legno che crolla. Come sarebbe visto al contrario?

S: Oh! Bellissimo! Da un mucchio caotico di pezzi di legno si formerebbe una torre.

I: E? Succedono cose così?

S: Forse al cinema.

I: Immagina: davanti a te brucia una candela che diventa sempre più corta. Come sarebbe al contrario?

S: La candela diventa più alta.

I: Sì, ma non solo.

S: Cosa?

I: La candela non emette luce, ma la assorbe.

S: E allora cosa vediamo?

I: Nero. È possibile?

S: No.

I: Quindi la domanda è: cos'hanno di speciale quei processi che possono svolgersi sia in avanti che al contrario? Tra l'altro si chiamano processi reversibili. E cos'hanno di speciale quelli che al contrario non funzionano, i processi irreversibili?

S: Avrò a che fare con l'entropia...

I: Esattamente. I processi nei quali viene prodotta entropia sono quelli irreversibili. Se si svolgessero al contrario si dovrebbe annichilare entropia, e questo è vietato.

*S (prende con tutta calma una banana e comincia a mangiarla)*

I: Devi proprio? Non è ancora suonato.

S: Dimostro solo un processo irreversibile.

I: Ah sì?

S: L'ha già visto al contrario?

*(masticando, toglie un pezzo di banana di bocca)*

*(buio)*



*Commentatore:* Avete senza dubbio riconosciuto che la questione qui era quella del II° principio della termodinamica. È generalmente accettato come un principio estremamente importante, ma al contempo è considerato difficile. È vero che è importante, ma non è vero che sia difficile. L'affermazione che l'entropia può essere unicamente prodotta ma mai annichilata, ossia che si può produrre entropia ma non si può farla sparire è qualche cosa che per gli studenti non risulta per nulla ostico, ma che al contrario rappresenta per loro un utilissimo strumento per interpretare tutta una serie di fenomeni della vita di tutti i giorni e molte situazioni che vengono loro proposte nel corso dell'attività scolastica, e non solo nella nostra disciplina. C'è forse un ulteriore aspetto che vale la pena sollevare: molti ritengono che questa asimmetria tra la possibilità di creazione e l'impossibilità di annichilazione dell'entropia costituisca un ostacolo per gli studenti; in realtà vi sono altre situazioni in cui delle grandezze che possiedono un carattere estensivo non sono conservate: pensate ad esempio ai soldi, al valore del denaro. Qualsiasi ragazzo già a partire da 8-10 anni percepisce il valore del denaro come estensivo, ma al contempo sa che non si tratta di una grandezza conservata. Importanti sono gli aspetti operativi legati a questa formulazione del II° principio, che permette allo studente di discriminare in modo semplice e diretto tra processi reversibili e processi irreversibili: introdurre in questo modo il II° principio significa quindi fornirgli una potente chiave di lettura della realtà che lo circonda.

Questa sera abbiamo presentato le prime cinque ore di lezione del corso di termologia secondo la proposta del Corso di Fisica di Karlsruhe, che si rivolge a studenti dei primi due anni della scuola media superiore: naturalmente più avanti vengono presentati altri aspetti, come la relazione tra entropia ed energia, le macchine termiche, il comportamento dei gas, le transizioni di fase e anche qualche aspetto della termodinamica della luce. Questo approccio è stato provato sul campo negli ultimi 15-20 anni molte volte, per un totale di circa 15 000 studenti. Questo corso è stato recentemente anche oggetto di un'indagine di tipo valutativo che, oltre a dare risultati soddisfacenti, ha anche messo in luce tre aspetti interessanti. Il grado di coinvolgimento delle ragazze risulta essere nettamente superiore al punto di dichiararsi fiduciose dell'apprendimento scientifico. Il libro di testo (in via di traduzione in italiano) è apprezzato dagli studenti: esso viene letto e costituisce uno strumento importante per l'apprendimento. Per quanto riguarda proprio la termodinamica, le conoscenze degli studenti al termine del corso sono superiori a quelle riscontrate con l'insegnamento tradizionale.

## **Epilogo**

L'altra idea per la elaborazione didattica dei risultati della ricerca va nel senso opposto, di evitare che concetti didatticamente utili vadano perduti insieme ad impostazioni superate. Nel nostro caso, forti di tutto quello che nel frattempo abbiamo imparato sulle distinzioni tra realtà, modelli e teorie fisiche, si tratta di recuperare quanto di sensato c'era nel tentativo di cercare qualcosa di estensivo (giusto!) e qualcosa di chimico del tipo sostanza (sbagliato !) per spiegare il comportamento dei corpi caldi. L'entropia appunto, certamente la più chimica delle grandezze fisiche.

Rimane da capire come mai questo sviluppo sia avvenuto abbastanza naturalmente per l'elettromagnetismo classico e non per la termodinamica. Domanda questa che richiederebbe una risposta storica, che mi piacerebbe spiegasse anche il destino avverso che sembra perseguire le scoperte in questo campo.

I più attenti si saranno accorti che il termine usato per questa parte della fisica è stato termologia anche se poi il discorso si è allargato ai principi della termodinamica. Con questa distinzione intendo sottolineare il fatto ben noto che è riduttivo considerare la termodinamica come la scienza del calore, ma

piuttosto si tratta della più completa formulazione della fisica classica macroscopica. Sfortunatamente questa formidabile sintesi è stata però completata contemporaneamente alla rivoluzione nella fisica avvenuta intorno all'inizio del secolo XX, la quale ha spostato completamente e definitivamente l'attenzione dei fisici verso i fenomeni microscopici.

Pertanto la Termodinamica classica non ha potuto lasciar sedimentare i concetti e produrre i benefici didattici propri di ogni sistemazione globale; al contrario è divenuta un sapere didatticamente rimosso, cosa di cui sentiamo tuttora le conseguenze: le varie parti della fisica continuano ad essere insegnate in modo separato e la termodinamica ancora più separata, da essere ormai considerata una specialità per chimici.

Concludo con la seguente osservazione: se è dunque naturale che lo sviluppo della ricerca vada verso la complicazione, moltiplicando e separando le aree del sapere, è certamente dovere dell'insegnamento ridurre e riunire, e senza semplificare, fin dove è possibile, trovare la semplicità.

\* \* \*