



il Quanto

Periodico di informazione scientifica dell'Insubria - Facoltà di Scienze Como

il Quanto. Dicembre 2010, anno I, n° 6

Iniziativa realizzata nell'ambito del programma dell'Università degli studi dell'Insubria per la promozione delle attività culturali e ricreative degli studenti

In occasione delle festività natalizie ormai alle porte, tutta la redazione del ilQuanto

**VI AUGURA BUONE FESTE
e UN FELICE ANNO NUOVO**



Ripercorrendo a posteriori la strada segnata negli ultimi mesi su queste pagine, ci accorgiamo di aver seguito un percorso significativo: col numero di settembre ci eravamo rimpiccioliti fino a vederci sfrecciare di fianco alcuni tra i più piccoli componenti della materia: protoni e particelle subnucleari; in occasione della successiva uscita avevamo girato all'indietro la rotella del microscopio, per assistere all'avventura delle molecole nel formare legami. Questo mese risaliamo ancora un po' nella scala delle dimensioni per ammirare la materia nella sua complessa originalità, un quadro disordinato e apparentemente confuso, eppure dotato di senso; ci apprestiamo a conoscere il mondo particolare dei vetri, con un occhio di riguardo al vetro comunemente usato (SiO₂, ossido di silicio). Ricordando che proprio dal silicio questo viaggio nelle viscere della materia era partito...

Evocando il vetro ci si siede sulla spalla della storia, e mentre se ne indagano le proprietà fisiche è bello realizzare come questo studio faccia da ponte fra il presente e l'antichità, accomunando lo scienziato di oggi all'artigiano veneziano del XIII secolo, la mano autrice dei mosaici in epoca bizantina al vasaio indiano ed egizio di millenni prima.

...A proposito: sapete perché proprio a Murano si lavora il vetro? Perché nel 1291 tutte le vetrerie di Venezia furono spostate lì per scongiurare il pericolo di incendi.

...E perché il vetro è trasparente? Perché nessuna delle transizioni tra i suoi livelli energetici corrisponde alla lunghezza d'onda della luce, e inoltre non possiede al suo interno disomogeneità di grandezza confrontabile alla stessa lunghezza d'onda (il che provocherebbe fenomeni di diffusione).

Ecco quante curiosità può schiudere un'analisi più approfondita di un materiale così familiare, responsabile di occhiali e

specchi, serramenti e fibre ottiche, affezionato tanto alla quotidianità di una casa quanto all'industria.

P.S. Questo mese inauguriamo inoltre una nuova tappa nel cammino del "Quanto": il sito ilquanto.wordpress.com, dove troverete tutti i numeri pubblicati e gli approfondimenti relativi alla quarta pagina. Da non perdere!

F.U.

"Lo scorso numero abbiamo erroneamente annunciato l'articolo su luce e fenomeni atmosferici, destinato invece all'uscita di gennaio: ce ne scusiamo con i lettori!

La redazione"

Le più recenti teorie in fisica trattano di fenomeni così inaccessibili che non sappiamo nemmeno se saremo mai in grado di condurre gli esperimenti necessari per metterle alla prova. Al contrario lo studio teorico e sperimentale, in parallelo, della materia ordinaria svela mondi affascinanti e porta a teorie ricche di sorprese - ma verificabili. Se invece di cercare le teorie ultime ci accontentiamo di considerare il mondo delle proprietà emergenti (quelle che - come la durezza di un cristallo, o le oscillazioni magnetiche in un vetro ultrafreddo - risultano dall'organizzazione di un grande o anche piccolo numero di atomi) improvvisamente i misteri più profondi (e forse le ricerche più utili per le nostre aziende) ci saranno tra le mani: come il prossimo primo fiocco di neve, o un grano di sale da cucina, o un'umile scheggia di vetro da finestra.

Introduzione di
G.Jug e M. Palienko

IL FASCINO DISCRETO DEL DISORDINE IN FISICA DELLA MATERIA ORDINARIA

Un luogo comune è che la fisica interessante sia quella che si riferisce a fenomeni dell'infinitamente piccolo o dell'infinitamente grande, visione che nasce dal pregiudizio che una volta acquisita la conoscenza delle Leggi Fondamentali della Fisica - valide per una o poche particelle puntiformi - lo studio di tutti gli altri fenomeni si possa ridurre a mera applicazione delle leggi fondamentali. L'atteggiamento (detto riduzionista) sminuisce un grande sforzo intellettuale atto a capire fenomeni fisici molto diversi fra loro e tuttavia

derivabili - solo sulla carta però - da una stessa e ben nota Hamiltoniana^[1]. Fenomeni come il magnetismo, la superconduttività^[2] - a bassa e ad alta temperatura di transizione - le proprietà ottiche e di trasporto dei semiconduttori^[3] ... e poi la chimica, la biologia, la vita organica. Per arrivare a comprendere qualitativamente e quantitativamente tutti questi fenomeni tra loro così diversi, occorre tuttavia tutta l'intuizione e l'ingenuità dello scienziato, capaci di semplificare l'Hamiltoniana di cui sopra in qualcosa di molto più trat-

tabile matematicamente, ma che tuttavia funzioni. In breve: bisogna saper fare dei buoni modelli efficaci. Questo articolo tratta dell'arte di saper fare dei modelli che funzionano.

Altro preambolo. Anche in fisica della materia condensata^[4] il teorico ama spesso lavorare con astrazioni: il solido visto come perfetto reticolo cristallino; il vetro come una rete atomica omogeneamente disordinata (un liquido rapidamente raffreddato e che non è riuscito a divenire cristallo). È un inizio, ma diciamocelo: le cose più belle non nascono forse dagli errori in queste strutture perfette? Senza l'imperfezione nella perfezione la vita sarebbe rimasta all'ameba. Lo stesso succede nella fisica della materia condensata: il fascino dei fenomeni spesso risiede nella materia più comune, o quasi: disordinata nel suo disordine. Bob Laughlin (Premio Nobel nel 1998) in un suo libro ben riuscito^[5] sostiene che c'è tanto di affascinante da scoprire nella materia di tutti i giorni, senza necessariamente cercare nell'infinitamente piccolo o grande. Fenomeni che lui chiama "emergenti", perché conseguenze inaspettate delle leggi fondamentali della Natura - magari già conosciute da secoli - che così affannosamente inseguiamo, sono spesso all'angolo della strada, nel laboratorio di una cantina oscura (proprio come accadde a Bednorz e Müller -altri Premi Nobel- scopritori neanche per caso della superconduttività negli ossidi misti di rame e lantanidi -altri sistemi disordinati- negli scantinati della potente IBM).

Qui vi vogliamo raccontare del fascino discreto - perché insospettabile - del vetro "quasi ordinario", da finestra se volete. Certo, i fenomeni più belli vengono rivelati quando portiamo questo materiale ordinario alle temperature infinitesime tanto utili a Bob Laughlin, ma già nell'ambiente di tutti i giorni l'amorfo^[5] ci pone mille sfide intellettuali. Perché un liquido mal congelato, che avrebbe dovuto divenire un cristallo, è così "solido", resistente, versatile e utile, pur essendo così lontano dalla perfezione? Perché avviene la transizione vetrosa? È una vera transizione? Com'è possibile descriverla matematicamente?

Il vetro è il più semplice esempio di un sistema complesso. Se riusciremo a "capire" in quanto fisici il vetro (perché vicino alla transizione vetrosa^[6] la viscosità^[7] di un liquido aumenta di svariati ordini di grandezza, per esempio) avremo una chance per cominciare a comprendere i sistemi biologici partendo dalle leggi ben conosciute della fisica.

Paradossalmente, nella loro complessità, i vetri ridiventano "semplici" alle temperature tanto care a Laughlin. Nessuno sa veramente ancora perché, ma dei comportamenti universali (indipendenti dalla composizione chimica) vengono osservati sotto 1° K; ma solo negli amorfi più astratti, perché le deviazioni, spesso pure universali, dai comportamenti più semplici sono più la regola che l'eccezione. Infatti: così come non esistono cristalli perfetti, non esistono in Natura nemmeno solidi amorfi perfetti. La realtà è sempre qualcosa di mezzo, specie in sistemi, i vetri, che vorrebbero diventare cristalli, ma non ci sono riusciti perché il vulcano, o l'uomo, li ha portati troppo in fretta a temperature ben sotto quella di cristallizzazione (loro stato ideale). Allora il materiale ci prova, crea zone microscopiche in cui comincia a cristallizzare o comunque ad organizzarsi (localmente) in modo meno disordinato, specie se sono presenti componenti chimiche che formerebbero volentieri e rapidamente un cristallo se ne avessero una chance e qualche punto nella massa del materiale dove cominciare a farlo. In breve, un amorfo per quanto puro riesce sempre a generare "difetti" o "embrioni" cristallini nella sua struttura pur omogeneamente disordinata. È solo una questione di tempo, sappiamo infatti che il vetro delle antiche ampole egizie contiene un'elevata concentrazione di microcristalli veri e propri. Non è strano, perché il vero stato termodinamicamente stabile^[8] del vetro è il cristallo: che presto o tardi riuscirà a formare (magari in

tempi ben più lunghi di quelli geologici). Questa semplice e - sulla carta - banale constatazione è all'origine della nostra spiegazione dei risultati di affascinanti esperimenti sui vetri "ordinari" che solo in un paio di laboratori al mondo, per ora, sono stati condotti. Da una decina d'anni, però, gli addetti ai lavori (pochi tenaci individui, in verità) si affannano a cercare esotiche spiegazioni che vorrebbero essere "universali": per esempio la presenza di atomi, nella composizione di quei vetri che meglio mostrano questi strani effetti, i cui nuclei portano un numero sbilanciato di protoni e neutroni e quindi hanno una distribuzione di carica nucleare non sferica. Niente di tutto ciò: la spiegazione è più "banale": non esistono in Natura solidi amorfi perfettamente omogenei. Se questa non è una spiegazione di carattere universale...

Ma come descrivere l'imperfezione nel più grande disordine, la pur lieve tendenza del solido amorfo a raggiungere uno stato perfettamente ordinato e per giunta far partire l'Hamiltoniana di cui sopra e la macchina della Meccanica Quantistica, per riuscire a spiegare quantitativamente i dati sperimentali (dunque per convincersi tra una teoria e un'altra)? Qui sta il mestiere del fisico teorico: formulare il giusto modello efficace. Saper riconoscere i gradi di libertà^[9] più rilevanti del problema e farne un modello matematico trattabile, seppur con un certo affanno.

Si ritiene che sotto 1 K i gradi di libertà rilevanti siano associati a particelle (fittizie, diciamo noi) interessate da un moto localizzato in un potenziale sconosciuto caratterizzato da almeno due buche di potenziale^[10]. In Fig.1 vengono rappresentati i movimenti oscillatori tipici cui ci riferiamo, anche se questa visione da particella singola oramai è superata (come i nostri studi teorici in campo magnetico hanno rivelato).

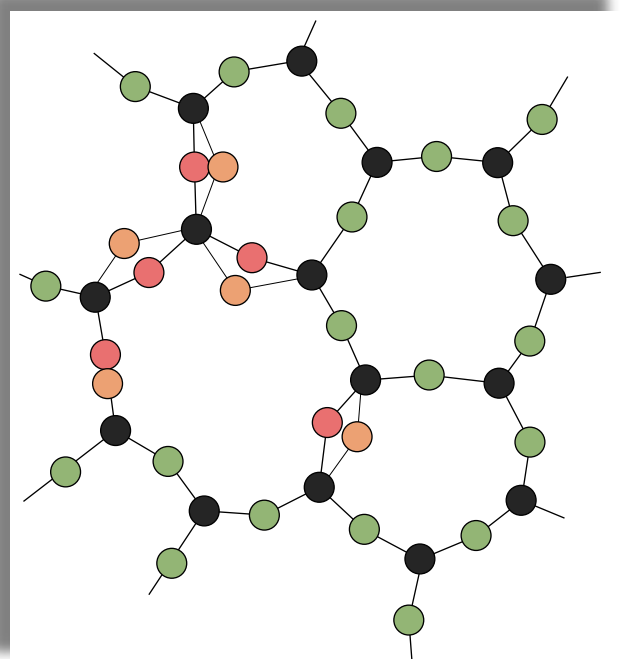


Fig. 1. Esempi di atomi nel vetro (SiO₂ amorfo) interessati a fenomeni di tunneling. In realtà vi sono gruppi atomici che coinvolgono molti (da 5 a 10) atomi in moto coerente e che ci tocca trattare come se fossero particelle puntiformi

Ben più complessa la situazione in presenza di embrioni cristallini, come la vignetta nella Fig.2 rappresenta. Qui dobbiamo ricorrere a potenziali a tre o più buche e quindi caratterizzare i loro parametri minimi in un nuovo modo, che tenga conto del fatto che stavolta l'organizzazione atomica è localmente meglio ordinata. Alle basse temperature non vi è ragione di pensare che solo la situazione a due buche sia quella dominante, al contrario. In più, potenziali locali a più di due buche e con una nuova distribuzione dei loro parametri danno luogo a una fisica veramente nuova.

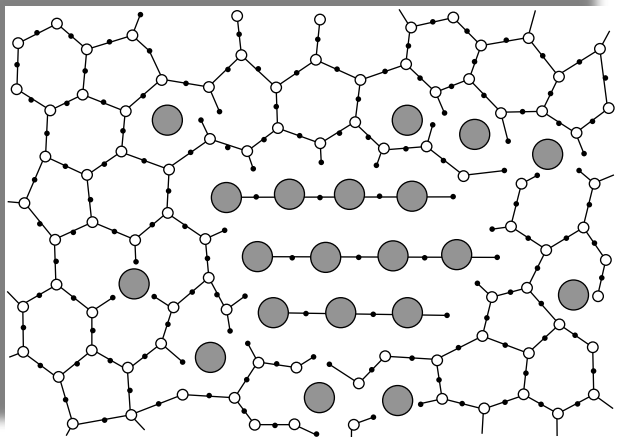


Fig. 2. Vignetta rappresentante la tendenza a formare embrioni cristallini nel vetro (qualunque ne sia la composizione)

Attraverso il modello postulante l'esistenza di embrioni cristallini, effetti fino a poco fa inspiegabili e molti altri fenomeni magnetici osservati nell'ultimo decennio hanno trovato una giustificazione. Abbiamo saputo formulare un modello efficace che funziona^[a], tutto qui. Più importante ancora: la scoperta è che questo tipo di esperimenti sotto 1 K in realtà ci dice cosa accade appena sotto la temperatura T_f di transizione vetrosa: la massa del solido amorfo è frustrata^[11] e s'incammina immediatamente verso il suo stato termodinamicamente stabile, nel modo che abbiamo descritto a parole. Il meglio delle nostre ricerche deve quindi ancora venire, in quanto ogni teoria della transizione vetrosa che si rispetti dovrà tenere ciò in considerazione.

**Giancarlo Jug e
Maksym Paliienko**

Glossario

^[1] **Hamiltoniana** – un sistema fisico non dissipativo (cioè dove non ci sono attriti) può essere descritto tramite una teoria molto generale, che permette di identificare il sistema (cioè determinare le caratteristiche, come posizione e velocità, delle sue parti costituenti) e calcolarne l'evoluzione tramite un'unica funzione detta hamiltoniana, da cui derivano le equazioni del moto del sistema.

^[2] **Superconduttività** – proprietà di certi materiali a bassissime temperature: la resistenza elettrica diventa nulla.

^[3] **Semiconduttori** – materiali con comportamento intermedio fra quello dei conduttori (capaci di far fluire al loro interno corrente elettrica) e quello degli isolanti (che non conducono corrente): conducono corrente a patto di fornire un quantitativo basso di energia.

^[4] **Fisica della materia condensata** - branca della fisica che studia le proprietà fisiche microscopiche della materia.

^[5] **Amorfo** - idealmente, un solido è cristallino quando i suoi atomi sono disposti su un reticolo perfettamente regolare nello spazio (nella realtà ci sono sempre dei difetti in questa struttura periodica). Un solido amorfo ha i suoi atomi disposti "a caso", nel senso che non ci sono proprietà periodiche (non possiamo pensare a un ideale reticolo tridimensionale, regolare, a cui sono "appiccicati" gli atomi).

^[6] **Transizione vetrosa** – transizione di un solido dalla fase amorfa a una fase solida non cristallina (ossia in cui le particelle non sono "organizzate"); avviene al di sotto di una certa temperatura.

^[7] **Viscosità** - è una proprietà dei fluidi che indica la resistenza allo scorrimento.

^[8] **Stato termodinamicamente stabile** – si dice che un sistema si trova in uno s.t.s. se le grandezze che lo

descrivono (volume, pressione, temperatura...) non variano nel tempo. Uno stato termodinamicamente stabile corrisponde, da un punto di vista dinamico, a una palla in una posizione di equilibrio stabile.

^[9] **Gradi di libertà** - il numero di gradi di libertà di un sistema è in numero di variabili che devono essere assegnate per conoscere la configurazione di un sistema e come questa evolverà. Per un corpo in moto, è necessario assegnare posizione e velocità; per un sistema termodinamico chiuso, si possono utilizzare temperatura, volume, pressione, calore trasferito dall'esterno... Passando da un sistema microscopico a uno macroscopico (come si fa in termodinamica), ci si può accorgere che si può fare una buona approssimazione e, invece di considerare posizione e velocità di tutte le particelle di un gas, basta conoscere le variabili sopra citate: pressione, volume ecc...

^[10] **Buche di potenziale** – Un potenziale è un oggetto matematico che descrive la proprietà di un punto dello spazio di interagire con un corpo: attirandolo o respingendolo (potenziale attrattivo/repulsivo). Una buca di potenziale è un tipo di potenziale che "intrappola" tra due punti dello spazio ogni corpo che ne sia attratto.

^[11] **Frustrato** – un sistema frustrato si può pensare come costituito da particelle che per via della loro disposizione nello spazio non riescono a raggiungere una configurazione stabile. Pensate di poter riempire una scatola con delle sfere, e poi di prendere queste sfere e costringerle a formare una colonna verticale, una sopra l'altra (p.es. Tenendole in posizione all'interno di un tubo). Se solo le sfere non avessero questo vincolo geometrico, sarebbero ben felici di porsi nella condizione di equilibrio, in cui riempiono tutta la scatola.

NOTE:

[a] Robert B. Laughlin, "A Different Universe (reinventing physics from the bottom down)", Basic Books 2005

[b] Giancarlo Jug e Maksym Paliienko (sinora apparsi: Philosophical Magazine 2004, Physical Review B 2009, European Physics Letters 2010)

PER APPROFONDIMENTI SULL'ARGOMENTO:

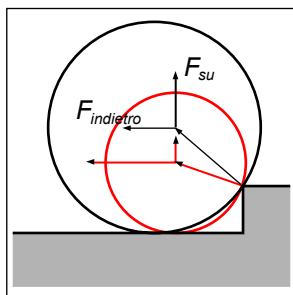
http://it.wikipedia.org/wiki/Fisica_della_materia_condensata

<http://www.infm.it/>

Liberamente tratto da "The wheel deal", James Riordon

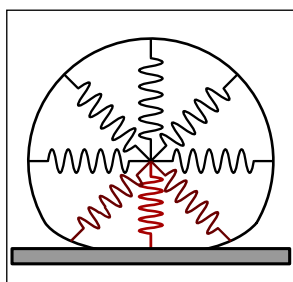
Avete mai avuto la sventura di passare un sabato pomeriggio in un negozio di articoli sportivi? E di rimanere esterrefatti di fronte all'assortimento di accessori di cui può essere provvisto un reparto skateboard? Decine e decine di pacchi con ruote di dimensioni diverse e consistenze differenti...Vi sarete chiesti il perché di una così vasta scelta. Ebbene: la colpa (o il merito) della prolissità del catalogo è in buona parte della fisica! Se non fosse per le forze in gioco nell'azione dello skater, diverse a seconda del terreno su cui la tavola si muove, qualsiasi rotella farebbe il proprio dovere. Invece un appassionato deve tener conto di diversi fattori: prima di tutto la dimensione delle ruote.

Le ruote piccole sono adatte per correre su superfici lisce come il calcestruzzo di cui è fatto un parco da skate, rampe di legno e tutti gli oggetti sui quali si fanno acrobazie. Nonostante questo primo vantaggio, però, sarà capitata a molti la spiacevole esperienza di urtare con uno skateboard contro un sasso o una buca, finendo per terra con una caduta rocambolesca. Questo genere di cadute è più frequente se si opta per ruote piccole! Analizziamo la situazione osservando la Fig.1: il piccolo cerchio rosso rappresenta una



ruota con diametro di 5cm, mentre il cerchio nero rappresenta una ruota di 9.5cm di diametro, le quali urtano contro un gradino alto 2cm. Le due frecce mostrano la direzione della forza a cui le due ruote sono sottoposte durante l'urto con lo scalino: trattandosi di una forza di reazione vincolare, e dovendo perciò essere diretta in modo da formare un angolo retto con la superficie di vincolo, agisce in direzione radiale. La ruota grande, allora, potendo contare su una componente della forza diretta verso l'alto, riesce a scavalcare l'ostacolo; mentre quella piccola deve fare i conti con l'entità maggiore della forza in direzione orizzontale, che la spinge all'indietro.

Con lo stesso ragionamento si può pensare che anche per piccoli ostacoli (qual è la ghiaia di cui è fatto l'asfalto stradale) la ruota piccola subirà un rallentamento maggiore e quindi la forza che bisognerà imprimere allo skateboard per mantenere la velocità sarà più grande rispetto ad uno skate con ruote grandi.

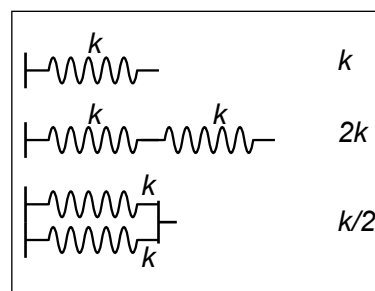


Ma allora perché non utilizzare ruote il più grande possibile? Uno dei problemi è che il poliuretano di cui la maggior parte delle ruote è fatta non è incomprimibile, ma subisce un certo schiacciamento a causa del peso dello skater.

Un modello semplificato di ruota si potrebbe costruire ipotizzando che il materiale di cui sono costituite si comporti come una raggiera di molle disposte intorno al perno della ruota fino alla superficie esterna.

L'intensità dello schiacciamento della ruota dipende da un parametro detto costante elastica k delle molle (una quantità che dipende dal tipo di materiale): più k è grande più la molla è dura e quindi più sarà difficile comprimerla. Poiché, come schematizzato in Fig.3, conosciamo bene il comportamento della costante elastica per configurazioni di diverse molle, possiamo asserire che se connettiamo una dopo l'altra due molle di costante elastica k , la costante elastica totale della molla fatta dall'unione delle due sarà la metà, $k/2$.

Se pensiamo i legami tra le molecole della ruota come costituiti da una serie di molle allora la ruota grande, che per fare un esempio ipotizziamo avere raggio doppio della ruota piccola, avrà costante elastica pari a metà di



quella della ruota piccola; di conseguenza una ruota grande risulta più facilmente deformabile (se non ci credete, date un'occhiata ai nostri calcoli, sul sito ilquanto.wordpress.com).

Il problema della compressione è però la perdita dell'energia fornita dallo skater, dovuta al continuo schiacciamento e allungamento della molla (in regime non perfettamente elastico - stiamo infatti idealizzando il problema, ma il materiale di cui le ruote sono fatte è ben lungi dall'essere perfetto!). Questo processo fa sì che ruote più piccole -ossia meno comprimibili, per quanto detto finora- possano disperdere meno energia, mantenendo una velocità più alta di quelle grandi.

Se pensiamo che questo modello sia valido dobbiamo ipotizzare anche che ad una sollecitazione della molla verso il basso, grazie alla legge di Hooke, possa corrispondere una forza nella direzione opposta (verso l'alto) permettendo dei piccoli balzelli che sono responsabili di urti, eventi che disperdono energia, rallentando così la velocità dello skater. Questo fatto accade più frequentemente se le molle sono maggiormente comprimibili.

In conclusione è sempre necessario scegliere delle ruote adatte alle specifiche situazioni: piccole per andare veloci su pista e spesse per andare con efficienza su strada, poiché non esiste una ruota perfetta che vada bene in tutte le situazioni. (E che sia di conforto all'assiduo frequentatore dei negozi sportivi...).

M.D, M.M, D.C.

PER INFORMAZIONI E SUGGERIMENTI:

ilquanto@gmail.com

ELABORAZIONE GRAFICA:

stefania.gasparetto@libero.it



NEL PROSSIMO NUMERO:

Luce e colore: ricostruzione "indoor" di fenomeni ottici atmosferici