

# Indice

Introduzione .....	1
Ouverture .....	4
L'indizio del tè e del fiume .....	10
L'indizio della bicicletta e della marea .....	18
L'indizio della lavatrice e del proiettile.....	46
L'indizio dell'acqua e della spinta.....	61
L'indizio del vento e del pallone.....	89
L'indizio del ghiaccio e del sale.....	109
L'indizio dell'elettrone e del fotone .....	125
L'indizio del mulino e del fonone.....	142
L'indizio del caffè e della borraccia.....	155
L'indizio della luce e dell'ombra.....	170
Epilogo.....	179
Approfondimenti .....	179
Ringraziamenti .....	183
Indice analitico.....	184

## Introduzione

La fisica è difficile!

È vero. Se la fisica fosse facile sarebbe stata scoperta prima. La fisica (moderna) è piuttosto giovane, ha solo 400 anni. La matematica è molto più antica, risale ad almeno 5000 anni fa. La scrittura la precede di molto. La parola, e con lei la storia, i racconti, l'arte sono nate ancora prima. E forse prima della parola è venuta la musica e la danza. Non a caso quindi troviamo insopportabilmente difficile questa costruzione tardiva e artificiale.

In realtà dovremmo stupirci di essere persino capaci di elaborare un ragionamento così sofisticato come quello che richiede la fisica. La nostra mente è un prodotto dell'evoluzione, come il resto del nostro corpo. L'evoluzione procede, grosso modo, in due maniere: elimina gli individui inadatti a sopravvivere in un determinato ambiente, e impedisce a chi non è "socialmente" (o sessualmente) adatto ad accoppiarsi e riprodursi.

È da tempo che propongo l'eliminazione fisica degli studenti che falliscono l'esame di fisica, così che tutta l'umanità potrebbe progredire verso questa conoscenza, ma mi dicono che non è fattibile.

Alternativamente, si potrebbe supporre che essere un/una nerd in fisica sia sessualmente attrattivo, ma posso garantire che non è così.

In realtà è probabile che la nostra "mente razionale" sia un sottoprodotto di qualcos'altro, magari il "cervello machiavellico" che è necessario, questo sì, per prosperare: fregare gli altri, "cuccare" i migliori esponenti dell'altro sesso, e cose del genere.

Però, purtroppo per voi, l'universo segue le leggi della fisica. Non pensate alle miriadi di equazioni per i vari problemi: intendo le leggi fondamentali, tipo la legge di inerzia o il principio di relatività. Devo dire che queste leggi sono affascinanti: non sono molte, giusto una manciata, e anche la sofisticazione matematica necessaria per avere una comprensione di base non è molto più di quella che si impara al liceo scientifico. Ma con queste leggi si spiega tutto il mondo! Beh, almeno in linea di principio. Quello che veramente mi attira nella fisica, e che spero di riuscire a trasmettere a tutti voi, è che le stesse poche leggi si combinano in tanti differenti modi, come mattoni di un lego cosmico.

Quando ho cominciato a scrivere questo libro, mi è sembrata una buona idea impostarlo come un giallo, con Sherlock Holmes e il dr. Watson che cercano di scoprire dove è nascosta la Fisica nella vita di tutti i giorni, e mi sono divertito a disseminare qua e là le citazioni di Conan Doyle, e immaginare di

essere nel 1926 (con molte licenze poetiche) e al corrente dello sviluppo della scienza, in particolare della fisica, cosa assolutamente non banale.

Dopo un po' mi sono reso conto che stavo scrivendo un testo di divulgazione usando l'artificio retorico del "dialogo"! Beh, non volevo certo scimmiettare il grande Galileo, ma devo dire che in questa maniera si riesce a vivacizzare un argomento che altrimenti tende a diventare noioso e didascalico. Spero soprattutto di essere riuscito ad evitare l'effetto "so tutto io" di tanti autori quando espongono la loro materia di studio. Anzi, sono sicuro di averlo evitato in quanto in questo libro è Sherlock che sa tutto!

Il titolo del libro ovviamente scimmiotta quello dell'ultima raccolta di racconti di Sir Conan Doyle,<sup>1</sup> ma del resto sappiamo di sicuro che il Dr. Watson teneva un suo taccuino in cui appuntava le avventure passate con Holmes.<sup>2</sup> In fisica, partendo da un qualsiasi argomento, si può divagare all'infinito. In un libro di testo questo stile sarebbe estremamente dispersivo, ma forse in un libro divulgativo le divagazioni possono contribuire a dare l'idea dell'unità della fisica. Per questo non ho "ripulito" il flusso di coscienza delle conversazioni tra Sherlock e Watson. Sarebbe stato forse più facile dividere gli argomenti tra "meccanica", "termodinamica", "elettricità e magnetismo" e così via, come si fa a scuola. Ma la natura non è fatta così. Tutto è mescolato! Un'altra cosa che per me è molto importante è il ruolo dei modelli. Come argomentano i nostri due investigatori nel corso del racconto, non abbiamo una vera conoscenza diretta della realtà: tutti i segnali esterni sono filtrati ed elaborati dal nostro cervello e inseriti in degli "schemi" definiti, oppure presi come eccezioni.<sup>3</sup> Ma il nostro cervello funziona così bene con gli schemi che tende a dimenticarsi delle eccezioni (altrimenti le mie figlie non riuscirebbero a farsi dare gli "extra" oltre alla paghetta). Gli "schemi" in fisica e in tutte le scienze si chiamano "modelli", e non ce n'è uno solo, adatto per tutte le stagioni: quelli troppo fondamentali sono così dettagliati che non è possibile usarli nei casi pratici, quelli approssimati funzionano solo in determinate circostanze. Così, a seconda del contesto, si parla di quark, di protoni, e neutroni, di nuclei ed elettroni, di atomi e molecole, di cellule, di neuroni e tessuti, di cultura e arte, eccetera, eccetera... In questo libro mi sono limitato ai nuclei, elettroni, fotoni, atomi e molecole.

---

<sup>1</sup> Conan Doyle, A. (1927). *Il taccuino di Sherlock Holmes*. [https://it.wikipedia.org/wiki/Il\\_taccuino\\_di\\_Sherlock\\_Holmes](https://it.wikipedia.org/wiki/Il_taccuino_di_Sherlock_Holmes)

<sup>2</sup> Conan Doyle, A. (1905). *L'avventura del ciclista solitario*, ne *Il ritorno di Sherlock Holmes*. (1917). *L'avventura di Wisteria Lodge*, ne *L'ultimo saluto di Sherlock Holmes*.

<sup>3</sup> Anche se questo è deprecato da Sherlock Holmes: "Non faccio mai eccezioni. Un'eccezione contraddice la regola". Conan Doyle, A. (1890). *Il segno dei quattro*.

Ho cercato di utilizzare per gli esempi materiale facilmente reperibile: si possono riprodurre quasi tutti gli esperimenti descritti a casa, con poca spesa. Potete trovare altri dettagli e altri spunti su [fisicax.complexworld.net](http://fisicax.complexworld.net) (sito ovviamente sempre in costruzione).

La prima versione di questo libro era piena di formule. Poi ho letto che ogni formula dimezza il numero dei potenziali lettori.<sup>4</sup> Questo libro ha un ovvio bacino di utenza potenziale formato da tutti gli italiani capaci di leggere, ovvero circa 50 milioni di persone (sono ottimista). Nella prima versione c'erano più o meno 50 formule, quindi avrei dovuto dividere questi 50 milioni per due 50 volte, ovvero li avrei dovuti dividere per  $2^{50} = (2^{10})^5$ . Dato che  $2^{10} = 1024 \approx 1000$ ,  $2^{50} \approx 1000^5 = 10^{15}$ , quindi avrei avuto un pubblico stimato di

$$\frac{5 \cdot 10^7}{10^{15}} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ persone!}$$

Sono subito corso ai ripari e ho messo tutte le formule (tranne questa) nelle note, così adesso mi posso godere i miei 25 milioni di lettori.

In realtà non è vero. Nei capitoli finali delle formule ci sono, perché non sono riuscito ad eliminarle. Devo confessare a me i libri (scientifici) senza formule fanno paura: queste espressioni sono una stenografia che ha preso un bel po' di tempo per essere elaborata e che rende possibile la manipolazione delle equazioni. Inoltre con le formule è più facile verificare numericamente, almeno in maniera approssimata, se le ipotesi sono verificate e che la spiegazione dell'effetto sia quella giusta. La fisica è una scienza sperimentale: le costruzioni teoriche senza possibilità di verifica sono guardate molto male (ovviamente io mi occupo proprio di modelli teorici...).

Avrei anche voluto inserire le derivazioni di tutte le formule, in maniera semplificata, a partire dalle leggi fondamentali, ma sarebbe venuto fuori un volume di 1000 pagine.

I più volenterosi potranno cercare tutti gli errori che ho seminato nelle varie sezioni (sia chiaro: se li trovate è perché l'ho fatto di proposito per vedere se mi seguite! Almeno questa è la scusa che uso sempre a lezione).

Un grazie ovviamente ad Albert Einstein alias "il Professore". In fondo questo libro ripercorre gran parte delle sue scoperte.

Borgo S. Lorenzo (FI).

---

<sup>4</sup> Stewart, I. (2017). *Le 17 equazioni che hanno cambiato il mondo* (riferendo la frase a Stephen Hawking).

## Ouverture

Per Sherlock Holmes lei era **la** donna. Raramente l'ho sentito riferirsi a questa persona in altro modo; ai suoi occhi ella primeggiava su tutte le altre e le oscurava.<sup>6</sup>

### Scena 1

Una stanza con un tavolino da tè con sopra due tazze, una teiera, una caffettiera, una ciotola di panna, cucchiaini, zuccheriera, una bottiglia d'acqua, una di vino, una di champagne, bicchieri. Due poltroncine di vimini. Nella parete di fondo c'è la porta di ingresso, una porticina che dà su uno sgabuzzino, e una porta-finestra che dà su un giardino. Alla parete è appoggiata una bicicletta e ci sono vari poster.

Il Professore, col baffo che conquista (figura 1), sta nervosamente dando l'ultima sistemata alle tazze e chicchere sul tavolino, aggiusta le poltroncine... Evidentemente sta attendendo qualcuno (o qualcuna) a cui tiene.

Suona il campanello, il Professore si precipita ad aprire la porta, ed entra una bella donna (figura 2), con un lungo cappotto rosso e un cappello a tesa larga, sempre rosso, con veletta.

Il Professore galantemente la aiuta a levarsi cappotto e cappello, che appende ad un attaccapanni.

P: Cara, finalmente! Non vedevo l'ora che tu arrivassi!

X: Ma mio caro Albert, lo sai che arrivo sempre in tempo, né un minuto prima né un minuto dopo.

P: Ma vieni, siediti! Tè? Caffè? Champagne? Un bicchiere di questa deliziosa acqua francese? O forse un calice di Bordeaux? Lo imbottiglio io, sai?

X: Prendo un caffè. Con un po' di panna, grazie.

Il Professore versa il caffè per lei e il tè per sé, e le porge la ciotola con la

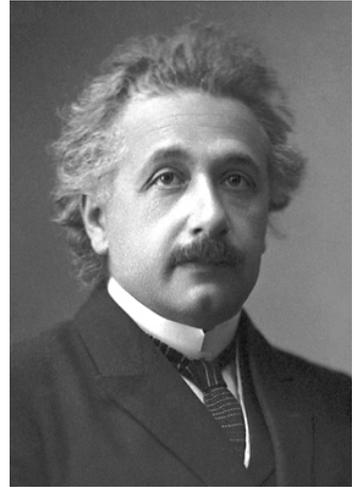


Figura 1. Il Professore.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Albert Einstein nel 1921, immagine da [https://it.wikipedia.org/wiki/Albert\\_Einstein](https://it.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein)

<sup>6</sup> Conan Doyle, A. (1891). *Uno scandalo in Boemia* da *Le avventure di Sherlock Holmes*.

panna. Quando lei sta per prenderla, le afferra il braccio.

P: Non posso più attendere. Devo dirti quello che provo! Ormai penso a te tutto il tempo, notte e giorno! Cara! Vuoi...

In quel momento si sente bussare fortemente alla porta.

(voce da fuori): Aprite! Polizia! Sappiamo che sei lì dentro! Ti abbiamo visto entrare, carina! Aprite o buttiamo giù la porta!

X: Sono qui per me! Mi prenderanno e mi rinchiuderanno in qualche posto polveroso! Che posso fare?

Il Professore prende il cappotto e il cappello dall'attaccapanni, e apre la porticina. Si vede uno stanzino pieno di oggetti.

P: Presto! Nasconditi qui dentro, insieme a queste cianfrusaglie, nessuno penserà a cercarti qui! Ci penserò io a trascinarli via!

Il Professore indossa in fretta il cappotto e il cappello, monta sulla bicicletta appoggiata lì vicino e fugge dalla porta-finestra, mentre la porta crolla sotto i colpi. Entra un commissario (Lestrade) che grida:

L: Accidenti! Siamo arrivati tardi! Non c'è nessuno! Ah, no! (guardando dalla porta-finestra) Eccola lì! Ehi, voi! (affacciandosi alla porta) Sta fuggendo in bici dal giardino (figura 3)! Preparate l'auto per inseguirla!

Lestrade esce correndo.

## Scena 2

Il commissario è in piedi nel mezzo della stanza, e sta parlando con un poliziotto che gli ha portato qualcosa. Un altro poliziotto si affaccia alla porta.

Poliziotto2: È arrivato il sig. Holmes!

Entrano Sherlock Holmes e il Dr. Watson, entrambi piuttosto vecchi. Il commissario liquida i poliziotti e si fa loro incontro, sorridendo.



*Figura 2. Irene Adler, "la" donna per Sherlock Holmes.<sup>7</sup>*

---

<sup>7</sup> Disegno di Dana Gibson, C. (1891). [https://it.wikipedia.org/wiki/Irene\\_Adler](https://it.wikipedia.org/wiki/Irene_Adler)



*Figura 3. Il Professore in bicicletta a Santa Barbara, California nel 1933.<sup>8</sup>*

L: Caro Holmes! Non so come ringraziarla per aver risposto al mio disperato appello! Come vanno i suoi attacchi reumatici? So che da molti anni vive in una piccola fattoria sulle Dune a cinque miglia da Eastbourne, dove passa il suo tempo dedicandosi alla filosofia e all'apicoltura, e che non è più attivo dal 1914,<sup>9</sup> ma sono certo che il suo cervello sia ancora brillante anche dopo questa guerra così catastrofica. Buona sera anche a lei, Dr. Watson!

H: Mio caro Lestrade, come sta? La trovo un po' invecchiato. Si vede che la polizia londinese non manda mai in pensione i suoi valenti ispettori! Ho saputo che stavate quasi per prendere la Fisica.

L: Già, ma come al solito ci è sfuggita! Avevamo circondato l'appartamento, e anche se quasi tutti noi siamo corsi dietro al Professore, siamo sicuri che non sia uscita da qui!

H: Almeno il Professore l'avete preso?

L: Sì, è scappato in bicicletta lungo il Tamigi, e stavamo per perderlo se non fosse scivolato sulla strada ghiacciata, vicino ai Canary Wharf, all'ingresso della Isle of Dogs. Ci ha detto che la sua intenzione era poi di costeggiare il Lea River e rifugiarsi a House Mill, dove ha degli amici.

La strada era così scivolosa per il ghiaccio che abbiamo dovuto spargere il sale sulla strada per riuscire a ripartire. E meno male che c'era bassa marea,

---

<sup>8</sup> Immagine da <https://it.pinterest.com/pin/75576099970350640/>

<sup>9</sup> Conan Doyle, A. (1917). *L'ultimo saluto*.

altrimenti con tutto il traffico generato dai battelli che attraccano, l'avremmo sicuramente perso.

H: E cosa ha detto?

L: Lui dice che basta seguire attentamente le sue lezioni per scoprire dove si nasconde la Fisica, che lui non l'ha mai nascosta. Abbiamo anche esaminato le trascrizioni delle sue lezioni, ma senza capirci nulla. Lei è la nostra ultima speranza, Holmes!

H: Farò del mio meglio. Avete raccolto degli indizi?

L: Ho fatto portare tutto qui. Questo è quello che aveva preparato il Professore: il tè, il caffè con la panna ancora da versare, e poi ecco la bicicletta con cui è fuggito, una carta di Londra, il sale, e tutti questi oggetti trovati nello sgabuzzino. Le lascio tutto l'incartamento. Mi faccia sapere al più presto!

Il commissario esce.

### Scena 3

Holmes e Watson sono rimasti soli nella stanza. Holmes si siede tranquillamente e si accende la pipa (figura 7).

W: Questo ha l'aria di essere un mistero veramente insolubile! Dove potrà mai nascondersi la Fisica se qui hanno perquisito tutto?

H: Lestrade riesce a trovare qualcosa solo se segue un ragionamento deduttivo, ma qui occorre invece esercitare la sottile arte dell'abduzione, che modestamente ho inventato io.<sup>10</sup>

W: Ricordo il suo articolo *Il libro della vita*,<sup>11</sup> a proposito della deduzione e dell'induzione, ma il ragionamento abduttivo è per me nuovo...

H: Non c'è niente di nuovo sotto il sole. Tutto è già stato fatto prima.<sup>11</sup> Cercherò di spiegarmi con un esempio che anche Lestrade potrebbe capire. Prendiamo un sacchetto di fagioli borlotti. Se ne pesco uno senza farglielo vedere (figura 4), di che tipo si aspetta che sia?

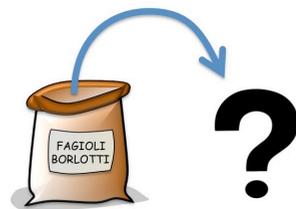


Figura 4. Deduzione.

---

<sup>10</sup> L'abduzione in realtà è stata introdotta nella logica da Aristotele e nella pratica scientifica da Charles Sanders Peirce. <https://it.wikipedia.org/wiki/Abduzione>

<sup>11</sup> Conan Doyle, A. (1887). *Uno studio in rosso*.

W: Borlotto, ovviamente!

H: E questo è il ragionamento deduttivo. Ma adesso supponiamo che io non le dica di che tipo sono i fagioli nel sacchetto, ma che le mostri che quelli che ho pescato sono borlotto (figura 5). Cosa direbbe?



*Figura 5. Induzione.*

W: Beh, direi che nel sacchetto ci sono dei fagioli borlotto, e potrei ipotizzare che forse sono tutti così, anche senza esserne sicuro.

H: Bene! Questo è il ragionamento induttivo, e molti pensano che sia così che ragionano quelli che svolgono delle indagini, ovvero i ricercatori e gli investigatori come me.

W: Anch'io la pensavo così! E invece?

H: Supponiamo adesso che sulla scena del delitto ci sia un sacchetto di fagioli borlotto, e si trovino alcuni fagioli maciati stretti nel pugno della vittima (figura 6). Cosa direbbe?

W: Vediamo... Direi che i fagioli provengono probabilmente dal sacchetto, e che quindi la vittima e il sacchetto hanno qualcosa a che fare tra loro.

H: Eccellente, caro Watson! Ecco un esempio di ragionamento abduttivo! Il mondo è pieno di cose ovvie che nessuno si prende mai la cura di osservare.<sup>12</sup>

W: Non mi dirà che ha lei ha già capito dov'è nascosta la Fisica, tra questi oggetti della vita di tutti i giorni!

H: È elementare, mio caro Watson! Una volta eliminato l'impossibile, ciò che resta, per quanto improbabile, deve essere la verità.<sup>13</sup> Venga, sieda su questa comoda poltroncina e mi lasci illustrare qualche elemento che può esserle



*Figura 6. Abduzione.*

---

<sup>12</sup> Conan Doyle, A. (1901). *Il mastino dei Baskerville*.

<sup>13</sup> Conan Doyle, A. (1890). *Il segno dei quattro*.

sfuggito (figura 7). Vedrà che le conclusioni salteranno fuori da sole! Fumi pure uno dei suoi sigari, io preferisco la mia fedele pipa. Intanto metta fuori dalla finestra, nella neve, queste bottiglie d'acqua francese, che ci serviranno più tardi.

W: Che metodo pensa di seguire?

H: Il mio sistema personale che voi, Watson, conoscete bene: un sistema fondato sull'osservazione di piccole cose.<sup>14</sup>



Figura 7. I due investigatori alle prese con il mistero della Fisica nascosta.<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Conan Doyle, A. (1891). *Il mistero di Boscombe Valley*, ne *Le avventure di Sherlock Holmes*.

<sup>15</sup> Disegno di Paget, S. (1893). Immagine da [http://it.wikipedia.org/wiki/Dottor\\_Watson](http://it.wikipedia.org/wiki/Dottor_Watson)

## L'indizio del tè e del fiume

H: Prendiamo per cominciare questi due indizi: il Professore si è versato una tazza di tè, ed è fuggito lungo il Tamigi, per fermarsi proprio dove questo forma un grosso meandro.

W: Non mi sembra che ci sia nulla in comune tra questi due indizi. In Afghanistan, quando ero chirurgo militare, bevevamo spesso del tè accampati sulle rive di fiumi tortuosi, ma a parte il fatto che utilizzavamo l'acqua del fiume per riempire le pentole, non vedo altre correlazioni.

H: Caro Watson, lei sicuramente ha studiato molta medicina, ma cosa mi dice della fisica?

W: Credo di conoscere la fisica quasi altrettanto bene della medicina. All'Università di Londra erano molto severi, e ho studiato attentamente sia la meccanica del nostro Newton e del tedesco Leibnitz, senza contare il contributo dei francesi, che la termodinamica di Messieurs Laplace e Carnot e dei nostri Mr. Joule e Lord Kelvin, sia l'elettricità e il magnetismo di Mr. Faraday, di Herr Hertz e del nostro Mr. Maxwell. Ultimamente ho seguito anche le ultime notizie sulla fisica atomica di Mr. Bohr e di Herr Schrödinger, campo questo in cui anche il professor Einstein ha dato un certo contributo. Le ricordo che nel 1881 lei, caro Holmes, mi disse che ignorava completamente la Teoria Copernicana e la composizione del Sistema Solare, ovvero che è la Terra a girare intorno al Sole e non viceversa!

H: Vede, secondo me, in origine il cervello umano è come un attico vuoto che uno deve riempire con i mobili che preferisce. Uno sciocco assimila ogni sorta di ciarpame che gli viene a tiro, così che le nozioni che potrebbero essergli utili vengono spinte fuori o, nella migliore delle ipotesi, accatastate alla rinfusa insieme con un'infinità di altre cose, di modo che ha difficoltà a ritrovarle. Un operaio abile, invece, sta molto attento a ciò che immagazzina nel suo attico-cervello. Non vi metterà altro che gli strumenti che possono aiutarlo nel suo lavoro, ma di questi strumenti ne ha un vasto assortimento, e tutti in perfetto ordine. È sbagliato pensare che quella piccola stanza abbia pareti elastiche che possono allargarsi a piacimento. Creda a me, viene sempre un giorno in cui ogni nozione in più gliene fa dimenticare un'altra che aveva prima. È estremamente importante, quindi, che le nozioni inutili non estromettano quelle utili...

W: Ma il Sistema Solare!

H: Che diamine me ne importa? Lei dice che giriamo intorno al Sole. Anche se girassimo intorno alla Luna non farebbe un soldo di differenza per me o per il mio lavoro!<sup>11</sup> Sono nozioni inutili nella vita di tutti i giorni, come quegli argomenti che vanno oggi tanto di moda sulla struttura delle stelle, la relatività, l'origine dell'universo e la fisica subatomica!

Tenga presente che il mio arcinemico, il professor Moriarty,<sup>16</sup> era anche un matematico esperto di dinamica celeste. Non è forse lui l'autore acclamato di *Dinamiche di un Asteroide*,<sup>17</sup> un'opera che ascende a tali rarefatte vette di matematica pura che, a quanto si dice, non c'è stato esponente della stampa scientifica in grado di recensirlo? E non è stato lui che ha affascinato l'ispettore MacDonald spiegandogli le eclissi in un minuto, con una lampada rifrangente e un mappamondo?<sup>18</sup>

Preferisco concentrare i miei sforzi su cose più importanti. Per il resto, mi basta sapere che certi studi sono stati fatti e dove trovare ulteriori informazioni nel caso si rendano necessarie. Ma invece penso che la conoscenza della teoria della gravitazione, da cui credo si possa ricavare quella Teoria Copernicana a cui è tanto appassionato, sia importante, anche per questo caso.

Torniamo al nostro problema. Il prof. Einstein ha appena pubblicato un piccolo articolo in tedesco, in cui affronta il problema della connessione tra tè e meandri.<sup>19</sup>

W: (servendosi una tazza di tè) Incredibile! Non avrei mai detto che quello che succede in una piccola tazza di tè possa avere qualcosa a che fare con il comportamento di una cosa grande come un fiume.

H: Questo è sicuramente uno dei lati più interessanti della nostra affascinante fuggiasca, ma in fondo è anche la sua debolezza principale: possiamo scoprire dove si nasconde nel cosmo facendo degli esperimenti e delle osservazioni qui, nel calduccio della nostra casa. A proposito di calduccio, caro Watson, le dispiacerebbe accendere quel caminetto qui di fronte? Con quella porta sfondata entra un'arietta per nulla piacevole, alla mia età. Anche se è ancora giorno, qua fuori la neve è tutta ghiacciata, saranno non più di 23 gradi!<sup>20</sup>

---

<sup>16</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Professor\\_Moriarty](https://it.wikipedia.org/wiki/Professor_Moriarty)

<sup>17</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Dynamics\\_of\\_an\\_Asteroid](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Dynamics_of_an_Asteroid). L'asteroide 5048 è stato appunto dedicato al Professore [https://it.wikipedia.org/wiki/5048\\_Moriarty](https://it.wikipedia.org/wiki/5048_Moriarty)

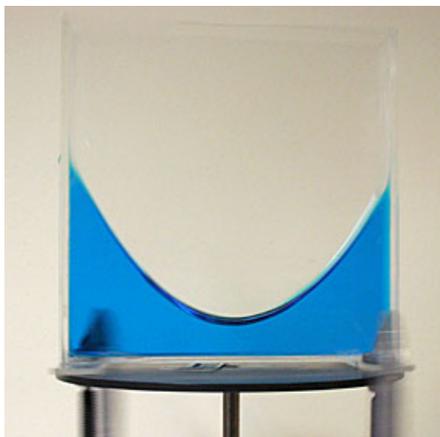
<sup>18</sup> Conan Doyle, A. (1915). *La valle della paura*.

<sup>19</sup> Einstein, A. (1926). *Die Ursache der Mäanderbildung der Flußläufe und des sogenannten Baerschen Gesetzes (The Cause of the Formation of Meanders in the Courses of Rivers and of the So-Called Baer's Law)*, die Naturwissenschaften **14**, 223.

<sup>20</sup> 23 gradi Fahrenheit, ovviamente, corrispondenti a -5 gradi Celsius.



*Figura 8. Un vaso "Mason" della Bormioli.<sup>21</sup>*



*Figura 9. Forma parabolica del pelo dell'acqua.<sup>22</sup>*

W: Ecco fatto, ho anche chiuso la porta.

H: Caro Watson, per cominciare abbiamo bisogno di un contenitore in cui mettere un po' d'acqua e delle foglioline di tè. Lo so che le ha già nella tazza, ma preferirei un contenitore trasparente e magari con il fondo convesso, invece che concavo come quello delle tazze. Veda un po' là se trova un vaso da conserve americano, quelli tipo "Mason" (figura 8).<sup>23</sup>

Adesso aggiunga un po' di acqua, diciamo fino a un quarto di altezza, e alcune foglioline di tè. Quelle usate vanno benissimo, così colorano meno l'acqua. Come può vedere, le foglioline sono più pesanti dell'acqua e vanno a fondo, e dato che il fondo è appunto concavo, si dispongono lungo la circonferenza. Metta in rotazione l'acqua, con un cucchiaino o facendo ruotare il barattolo. Osservi prima il profilo dell'acqua (figura 9): come lo descriverebbe?

W: La superficie è più in alto lungo i bordi e più in basso all'interno.

H: Caro Watson, dati i suoi studi di fisica, lei saprà sicuramente dirmi che forma assume il pelo dell'acqua e perché.

---

<sup>21</sup> Immagine da <http://shop.bormiolirocco.com/vaso-quattro-stagioni-con-capsula-500ml.html>

<sup>22</sup> Immagine da <http://www.askamathematician.com/wp-content/uploads/2013/01/waterparabola.jp>

<sup>23</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Mason\\_jar](https://en.wikipedia.org/wiki/Mason_jar)

W: Certo, è un problema che aveva affascinato anche Newton. Conviene analizzare il problema nel sistema rotante, così che per noi l'acqua è ferma. Oltre alla nota forza di gravità, diretta verso il basso, in questo sistema di riferimento appare anche una forza centrifuga che è diretta radialmente (figura 10).

Ovviamente dobbiamo poi considerare la pressione, ovvero la forza esercitata su una superficie unitaria dal liquido circostante, che per un fluido fermo è sempre perpendicolare alla superficie stessa.

Consideriamo una porzione di fluido vicina alla superficie. Perché questa sia in equilibrio si deve avere che la risultante delle due forze appena citate sia perpendicolare al pelo dell'acqua, così che possa essere equilibrata dalla reazione del fluido sottostante. Se non fosse perpendicolare il fluido "scivolerebbe" su quello sottostante, perché la pressione non potrebbe far altro che impedire il suo sprofondamento.

H: Ottimo! Però mi sembra difficile trovare la forma di una curva sapendo che dev'essere perpendicolare alla sua forza, che varia di punto in punto, come lei ha ben disegnato.

W: Beh, in realtà non è così. Queste due forze possono essere derivate da un'energia potenziale, e sappiamo che le linee di livello dell'energia potenziale sono perpendicolari alla forza.

H: Suona più complicato del necessario. È un errore enorme teorizzare a vuoto. Senza accorgersene, si comincia a deformare i fatti per adattarli alle teorie, anziché il viceversa.<sup>24</sup>

W: In realtà è un concetto abbastanza semplice, tutti noi militari abbiamo

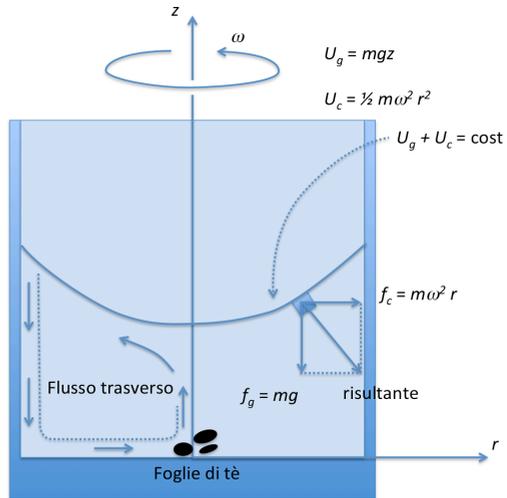


Figura 10. Schema delle forze, delle energie potenziali e del flusso trasverso per un vaso fermo contenente acqua in rotazione.

<sup>24</sup> Conan Doyle, A. (1891). *Uno scandalo in Boemia*, ne *Le avventure di Sherlock Holmes*.

usato delle mappe geografiche, e non credo che ci sia qualcuno che non le abbia guardate almeno una volta.

H: Certo!

W: Sulle cartine geografiche sono riportate delle linee di livello, che sono appunto le curve equipotenziali della forza di gravità. Se progettiamo un itinerario e vogliamo salire su una collina più rapidamente possibile dobbiamo incrociare le linee di livello ad angolo retto, cosa che ovviamente corrisponde ad andare contro la forza di gravità il più rapidamente possibile e quindi a sudare di più. E del resto, se ci fosse un'alluvione e l'acqua invadesse una regione, il livello dell'acqua seguirebbe una linea di livello.

H: Mi ha convinto! Come sono fatte le linee di livello per il nostro barattolo?

W: Basta sommare le due energie potenziali. Nel nostro caso, otteniamo che nel piano verticale le curve di livello sono delle parabole.

H: Veramente notevole, Watson. Tutto ciò è divertente, anche se elementare, Watson.<sup>25</sup>

W: Ma come???

H: Tutto quello di cui avevamo bisogno di sapere è che l'acqua, a causa della forza centrifuga, tende a stare più in alto all'esterno che all'interno del nostro fluido in rotazione! Adesso dobbiamo introdurre un nuovo elemento: la viscosità!

W: Ovvero la resistenza di un fluido allo scorrimento. Ma che c'entra con questo problema?

H: Mio caro Watson, il suo sapere scolastico si dimostra ancora una volta sterile, senza la capacità di applicarlo. Dopo che abbiamo messo il fluido in movimento nella tazza, girando il cucchiaino, cosa succede?

W: Che il fluido gira, salendo un po' lungo i bordi della tazza, e dopo un po' di tempo si ferma.

H: E perché si ferma?

W: Per l'attrito con le pareti... Certo! Le pareti sono immobili, e quindi c'è uno straterello di fluido che è fermo, e per viscosità questo straterello tende a frenare il resto del liquido. Come al solito avete ragione voi, Holmes!

---

<sup>25</sup> Conan Doyle, A. (1891). *Un caso di identità*, ne *Le avventure di Sherlock Holmes*.

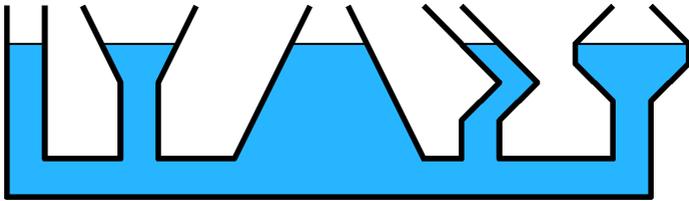


Figura 11. Principio dei vasi comunicanti.<sup>26</sup>

H: Adesso passiamo ad un altro soggetto, sempre per consolidare i nostri indizi. I vasi comunicanti.

W: Ma che c'entrano adesso i vasi comunicanti... Ok, mi illumini!

H: Cosa dice il principio dei vasi comunicanti?

W: Che un liquido a riposo posto in due o più contenitori comunicanti tra loro raggiunge lo stesso livello, che equivale ovviamente ad una superficie equipotenziale (figura 11).

H: Perfetto. Adesso consideri un tubo "virtuale" che partendo dalla superficie scorre lungo una parete, poi sul fondo per risalire al centro della tazza. Bravo! L'ha disegnato proprio bene (figura 10). Che conclusioni ne trae?

W: Dunque... il liquido a contatto con le pareti è fermo a causa della viscosità, e anche quello al centro della tazza è praticamente fermo perché si trova sull'asse di simmetria e quindi non gira. Ma il livello esterno è più alto di quello interno e quindi l'acqua "cade" dall'esterno verso l'interno cercando di ristabilire lo stesso livello.

H: Eccellente, mio caro Watson. Quindi, in un fluido che gira, ma con i bordi fermi, c'è un flusso trasverso che scende lungo le pareti e risale al centro, un flusso elicoidale. E se nel fluido ci sono delle foglioline di tè più pesanti dell'acqua...

W: ...queste verranno trasportate dal flusso trasverso fino al centro del vaso, ma non ce la faranno ad essere sollevate e quindi si fermeranno lì. Vediamo! Metto in rotazione il fluido... inizialmente le foglioline si dispongono lungo il bordo, perché a causa della forza centrifuga, essendo più pesanti dell'acqua, tendono a stare all'esterno... Ma ecco che il flusso rallenta e le foglioline migrano verso il centro del vaso, che pure è più in alto per via della convessità. Holmes, lei è un genio!

<sup>26</sup> Immagine da [https://en.wikipedia.org/wiki/Communicating\\_vessels](https://en.wikipedia.org/wiki/Communicating_vessels)

H: Tutto ciò che non è noto appare straordinario.<sup>12</sup> È solo la dimostrazione che non dobbiamo limitare il campo di applicazione di quello che apprendiamo agli ambiti degli esempi presentati. Ma possiamo adesso ai meandri fluviali. Un fiume che fa una curva può essere considerato come una porzione della nostra tazza.

W: Sì, comincio a capire. La curva del fiume corrisponde a metà della tazza.

H: Esatto! E per le stesse ragioni si stabilirà un flusso trasverso elicoidale che andrà dalla parte più esterna, impercettibilmente più alta, scendendo lungo il letto del fiume, fino alla parte più interna. Ora, le sponde del fiume non sono dure come la porcellana di Sèvres della sua tazza!

W: Direi piuttosto che si tratti di una porcellana di Derby, del tipo Royal Albert. Ma capisco quello che vuol dire. Se le sponde sono erodibili, i detriti verranno strappati dal lato più esterno e trascinati verso l'interno. E quindi il fiume tenderà a divenire sempre più tortuoso.

H: Molto bene! Può vedere questo meccanismo all'opera facendo scendere un filetto d'acqua lungo un vetro (figura 12), od osservando quello che succede durante un temporale che batta sulle sue finestre. Le singole gocce tendono a scendere in linea retta, come ci possiamo aspettare in base alla legge di Newton. Ma non appena si forma un filetto d'acqua, questo tende a serpeggiare, e spesso lo possiamo vedere andare in direzione quasi orizzontale. E più



Figura 12. Rivoli d'acqua su vetro.<sup>27</sup>

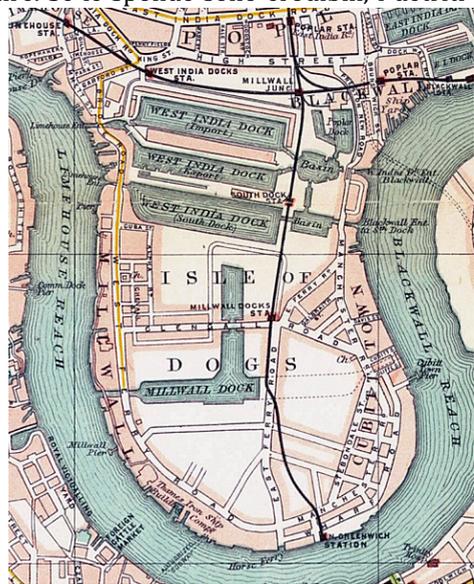


Figura 13. Canary Wharves e Isle of Dogs.<sup>28</sup>

<sup>27</sup> Immagine da <https://imageryoflight.wordpress.com/tag/windscreen/>

<sup>28</sup> Immagine da [http://en.wikipedia.org/wiki/Isle\\_of\\_Dogs](http://en.wikipedia.org/wiki/Isle_of_Dogs)

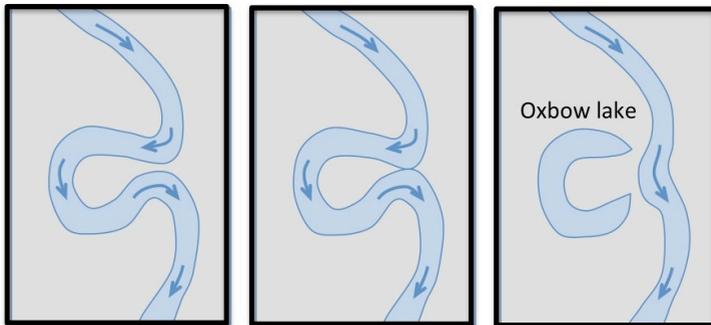


Figura 14. Nascita di un laghetto a mezzaluna (*oxbow lake*).

passa il tempo e più si agita, invece di diventare sempre più dritto in senso verticale. Il fatto è che il flusso secondario questa volta, invece di erodere, fa spostare il filetto stesso, per il principio di azione e reazione.

W: Devo ammettere che mi ha convinto! Quindi il Professore non è scappato verso il Canary Wharf per caso?

H: Se osserva la mappa che il caro Lestrade ci ha lasciato (figura 13), vedrà che la Isle of Dogs corrisponde proprio al più grosso meandro del Tamigi, e che i docks dei Canary Wharf si trovano proprio nell'ansa del meandro.

Quello che succede nei fiumi che sono lasciati liberi di determinare il loro corso, è che diventano sempre più tortuosi finché la parte interna dell'ansa cede, e "taglia via" un laghetto a forma di mezzaluna detto *oxbow lake* (laghetto a forma di giogo, letteralmente, figura 14).

È probabile che i bacini del Canary Wharf (le banchine delle Canarie) siano stati ricavati proprio dall'incipiente "taglio" del Tamigi, che avrebbe reso la Isle of Dogs una vera e propria isola. A proposito, ecco una nota di colore per animare i suoi racconti: le Isole Canarie si chiamano così per la grande quantità di cani selvatici che le popolavano, stando a Plinio il Vecchio.

È abbastanza ironico pensare che gran parte dei commerci con le Canarie si svolgono appunto sbarcando i prodotti delle isole sui docks del Canary Wharf, che per l'appunto si trova sulla Isle of Dogs. Così il commercio si svolge tra le "Isole dei Cani" e la nostra "Isola dei Cani".