

## La Pressione

(Pervenuto il 24.5.93, approvato il 17.06.94)

### ABSTRACT

Pressure. The concept of pressure should be easy to understand; despite that I've found frequent misunderstandings in students, teachers, and books. Is this quantity related to interaction or to the state of a system? Is it a vector, or scalar (or tensor) quantity? How can I understand Venturi's effect? Many sentences used to explain Stevin's law can be, in fact, misleading. What is "weight" in common understanding? – Here I'm giving a few suggestions for teaching.

La pressione? Un concetto semplice, quasi banale. È facile da spiegare: basta fare qualche esempio classico, tipo i tacchi a spillo, il chiodo, oppure gli sci sulla neve, e poi scrivere  $p = F/S$  e il gioco è fatto.

Eppure mi sono venuti non pochi dubbi. Avevo iniziato a studiare le rappresentazioni mentali degli allievi sulla pressione nei fluidi, ma mi sono accorto che molti dei "cattivi pensieri" degli studenti sono causati da quel che dicono i libri e gli insegnanti (me compreso).

Per questo motivo in questo articolo, prendendo lo spunto da personali difficoltà, cercherò di rintracciare alcune fonti di ambiguità e di idee sbagliate presenti nelle abituali trattazioni dei libri di testo (anche universitari) e proporrò alcuni suggerimenti per evitare il riprodursi degli stessi errori.

Per quanto riguarda invece gli studi sulle rappresentazioni mentali relative alla pressione, il lettore interessato potrà trovare utili indicazioni nei riferimenti: [17], un'ampia analisi delle idee degli studenti di 11-13 anni sui gas; [6], [12], [16], in cui si rilevano nel pensiero spontaneo interessanti relazioni fra gravità, peso e pressione dell'aria.

### 1. Che tipo di grandezza è la pressione?

#### Scalare o vettoriale?

Io direi scalare e così sento dire in genere. Ma allora perché si dice "pressione verso il basso o verso l'alto", oppure "nei fluidi la pressione è uguale in tutte le direzioni"?

Ma poi sono veramente tutti d'accordo che sia scalare?

Dalle autorevoli citazioni che seguono non sembra proprio.

"Se  $\sigma$  è questa superficie e  $\vec{F}$  è la forza, cioè la risultante delle forze  $d\vec{F}$  che sono applicate agli elementi  $d\sigma$  di  $\sigma$ , si chiama pressione su ogni elemento  $d\sigma$  il rapporto (fra due infinitesimi)  $\vec{p} = d\vec{F}/d\sigma$  ... Vogliamo dimostrare che in un punto qualsiasi del liquido il valore  $|\vec{p}| = p$  è indipenden-

te dall'orientazione dell'elemento di superficie  $d\sigma$  ... Per questo  $p$  si chiama pressione nel punto  $M$ ". [2] pag. 457 e 461.

"Quando su una forza distribuita su una certa superficie e normale ad essa, si chiama pressione  $\vec{p}$  in un punto  $P$  di tale superficie il rapporto tra la forza  $\vec{F}$  agente su una piccola area  $s$  attorno a quel punto e l'area  $s$  stessa:  $\vec{p} = \vec{F}/s$ . La pressione (che è una grandezza vettoriale) si misura dunque in newton per metro quadrato. ... la pressione esercitata dal liquido è, in modulo, indipendente dall'orientazione ... e ha sempre la direzione della normale a  $s$ ". [7] pag. 375.

"È quindi conveniente descrivere la forza che agisce su di un fluido specificando la pressione  $p$ , definita dal valore della componente normale della forza che agisce sulla unità di superficie. La pressione è quindi una grandezza scalare)." [1] pag. 189 e 198.

#### Grandezza di interazione o di stato, ovvero pressione "su" o pressione "in"?

Si parla di pressione esercitata su un oggetto per descrivere la distribuzione di una forza che agisce solo sulla superficie dell'oggetto, o comunque su uno strato superficiale che può essere considerato infinitesimo (1). Si tratta in questo caso di una grandezza che esprime un'interazione fra due corpi.

Si parla invece di pressione *in* un fluido o *di* un gas o *in* una stella per indicare una grandezza che rappresenta lo stato interno del sistema.

Molti problemi sorgono proprio da questa doppia natura della pressione. Forse si dovrebbe riservare la parola *pressione* per il secondo caso e indicare il primo come *densità superficiale di forza* o qualcosa di simile (2).

Le difficoltà sorgono quando si collegano i due aspetti o si tenta di definire la seconda mediante la

prima. Ogni sforzo in tal senso può avere successo solo se si considera appunto il tensore degli sforzi  $\Sigma = [\sigma_{ij}]$ . La pressione può allora essere identificata mediante la traccia di tale tensore, cioè

$$p = \frac{1}{3}(\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}) = \sigma_m$$

che è uno scalare.

Purtroppo con questa definizione la pressione non coincide sempre con lo sforzo normale ma rappresenta il suo valore medio. Il problema non si pone nel caso il tensore degli sforzi sia isotropo, che è appunto quello in cui più comunemente si parla di pressione. È il caso, per esempio, dei fluidi in equilibrio. In tal caso la *densità superficiale di forza* che si esercita fra il fluido e una parete solida sarà legata alla *pressione nel fluido* da una relazione del tipo  $\vec{F}/S = p\vec{n}$ , che deve essere interpretata a questo punto non come una definizione della pressione ma come una relazione fra due tipi di interazioni, quella fra fluido e parete solida e quella all'interno del fluido fra le sue parti.

Vediamo ora una situazione in cui questo carattere bifronte della pressione crea qualche problema.

## 2. L'effetto Venturi ovvero come innaffiare il giardino

Fin da ragazzo il tubo Venturi (v. fig. 1) mi ha tormentato di dubbi. Il fatto era certo indiscutibile, troppe erano le conferme anche caserecce, quello che non capivo era il meccanismo che faceva cambiare la pressione. Ogni volta che chiedevo spiegazioni ad un professore la risposta era simile e sbrigativa: portata costante quindi velocità maggiore dove sezione minore; teorema di Bernoulli quindi pressione minore dove velocità maggiore.

Ineccepibile! Eppure continuavo a rimanere perplesso e a passare notti insonni pensando a tubi che si stringevano e si allargavano e a molecole di acqua che correivano ma non premevano. Ad un certo punto mi ero formato una rappresentazione mentale insensata ma rassicurante: le particelle di fluido che andavano più veloci non avevano molto tempo per premere sulle pareti, tutte prese dalla necessità di andare avanti nel tubo che si stringeva senza farsi schiacciare dalle altre particelle (la densità doveva rimanere costante nel fluido *incomprimibile*).

Un giorno però innaffiando il giardino feci cadere un vaso: la velocità dell'acqua era così elevata che esercitò una forza, una pressione tanto forte sul vaso da farlo cadere. Velocità maggiore quindi pressione maggiore? Non ci capivo più niente (3).

Ma lasciamo da parte i bei ricordi di giovinezza e torniamo all'oggi. Ci sono due questioni da chiarire.

La prima riguarda l'ipotesi di fluido incomprimibile, cioè con densità invariabile, ipotesi che risulta necessaria per concludere che la portata è costante e quindi la velocità è inversamente proporzionale alla sezione. Le leggi della meccanica applicate a tale modello impongono la variazione della pressione, ma tale variazione è assolutamente inspiegabile nell'ambito dello stesso modello. È chiaro infatti che una variazione della pressione deve essere accompagnata dal cambiamento di qualche altra grandezza relativa al fluido, in particolare della densità e/o della temperatura. Considerando la temperatura costante si vede che sono proprio le variazioni della densità che rendono conto delle variazioni di pressione. Questa affermazione può sembrare in contraddizione con il fatto che il teorema di Bernoulli e anche la legge di Stevin possono essere ricavati supponendo costante la densità (4). Il fatto è che per *spiegare* la variazione di pressione è essenziale considerare il fluido compressibile, cioè considerare anche le piccole variazioni di densità, mentre per *calcolare* la variazione di pressione si possono trascurare queste piccole variazioni di densità e si può considerare il fluido incomprimibile (5).

La seconda questione riguarda il doppio aspetto del concetto di pressione prima segnalato. La diminuzione della pressione dove la velocità è maggiore contrasta infatti con l'idea intuitiva secondo cui la spinta, la *pressione*, esercitata dal liquido su una superficie perpendicolare alla direzione della velocità è più forte quando la velocità è maggiore. Idea intuitiva confermata da osservazioni sperimentali banali (6) e anche da calcoli rigorosi.

È chiaro che non vi è contraddizione fra i due aspetti. Si tratta solo di precisare meglio i concetti e la terminologia utilizzati.

Si può cercare di chiarire la situazione con una analogia un po' grossolana ma forse efficace. Si immagini una grande sala con molte persone che devono uscire attraverso uno stretto corridoio. Dentro la sala nelle vicinanze del corridoio la gente procede molto lentamente, si ammassa e spinge, preme per passare; le persone vicine alla parete della sala saranno schiacciate verso il muro, premendo forte su di esso. La pressione è elevata. Appena si entra nel corridoio invece si procede più speditamente, non ci si accalca più l'uno contro l'altro, non ci si spinge, la pressione è minore. Diversa è la situazione per una persona ferma urtata da una delle persone in movimento: l'urto sarà più forte nel corridoio, a causa della maggiore velocità, che nella sala.

Una illustrazione più vicina alla realtà fisica può essere la seguente. Immaginiamo un fluido che si muove in un condotto orizzontale. Finché si trova nella zona a sezione costante procede a velocità costante. Quando arriva nella zona a sezione gradualmente decrescente tende per inerzia a muo-

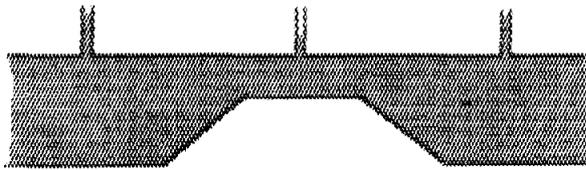


Fig. 1 - Il tubo di Venturi.

versi ancora alla stessa velocità e quindi tende ad ammassarsi a monte perché la quantità di fluido che attraversa la sezione del condotto in un certo tempo tende a diminuire verso valle, al diminuire della sezione. Ciò provoca rapidamente un aumento di densità verso monte e di conseguenza un corrispettivo aumento di pressione. Tale gradiente di pressione provoca una accelerazione del fluido, per cui verso valle la velocità aumenta fino allo stabilirsi di una situazione di moto stazionario. In conclusione dove la sezione è minore, la pressione è minore e la velocità è maggiore. È importante rilevare che in questo schema esplicativo l'ordine della catena causale è del tipo (indicando con  $\mu$  = densità,  $v$  = velocità)  $\Delta S \rightarrow \Delta \mu \rightarrow \Delta p \rightarrow \Delta v$  invece dell'usuale  $\Delta S \rightarrow \Delta v \rightarrow \Delta p$ . Mi sembra una sequenza ragionativa più convincente e più vicina alla situazione fisica reale.

Poniamoci ora ad un livello più formale ed astratto. Consideriamo una superficie geometrica chiusa  $S$ , ferma nel sistema di riferimento scelto. La quantità di moto del fluido contenuto in  $S$  varia sia a causa delle forze di pressione esercitate dal fluido esterno ad  $S$  su quello interno sia a causa dello spostamento di materia attraverso  $S$  (fluido che entra ed esce). Tale variazione nel tempo  $dt$  è

$$\Delta \vec{q} = \int_S \vec{\pi}_n dS dt \quad \text{dove}$$

$$\vec{\pi}_n = p \vec{n} + \mu (\vec{v} \cdot \vec{n}) \vec{v}$$

avendo indicato con  $\vec{n}$  il versore perpendicolare a  $dS$  diretto verso l'interno di  $S$  (cfr. [9] pag. 24).

Si può dire che attraverso  $S$  viene esercitato un impulso uguale alla variazione di quantità di moto  $\Delta \vec{q}$ , per cui  $\vec{\pi}_n dS dt$  rappresenta l'impulso esercitato attraverso la superficie  $dS$  nel tempo  $dt$  e anche l'impulso che sarebbe esercitato su una superficie solida posta nel fluido.

Utilizzando il simbolo di Kronecker  $\delta_{ik}$  ( $= 0$  per  $i \neq k$ ,  $= 1$  per  $i = k$ ) e indicando con  $n_k, v_i, v_k$  le componenti del versore  $\vec{n}$  e della velocità, possiamo ora introdurre il tensore  $\pi = [\pi_{ik}]$  con

$$\pi_{ik} = p \delta_{ik} + \mu v_i v_k$$

dove  $\pi_{ik} dS dt$  rappresenta la  $i$ -esima componente dell'impulso esercitato nel tempo  $dt$  attraverso la superficie  $dS$  perpendicolare alla direzione  $k$  e  $\sum_k \pi_{ik} n_k$  è la  $i$ -esima componente del vettore  $\vec{\pi}_n$ .

Se si sceglie un riferimento ortogonale con l'asse  $x$  coincidente con la direzione della velocità, il tensore  $\pi$  assume la forma:

$$\pi = [\pi_{ik}] = \begin{pmatrix} p + \mu v^2 & 0 & 0 \\ 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & p \end{pmatrix}$$

cioè nella direzione di  $\vec{v}$  l'impulso per unità di tempo e di area vale  $(p + \mu v^2)$ , in una direzione perpendicolare a  $\vec{v}$  solo  $p$ .

Se la parete è parallela alla velocità, la forza per unità di superficie è uguale a  $p$  ed è ciò che misura il manometro verticale. Se la parete è perpendicolare alla velocità, la forza per unità di superficie è uguale a  $p + \mu v^2$  (che diventa  $p + 2\mu v^2$  se si suppone che la parete rimanga ferma e il liquido rimbalzi elasticamente su di essa), ed è ciò che osserva chi si trova investito frontalmente dal getto di liquido.

Si potrebbe definire allora la pressione come una grandezza tensoriale uguale al tensore  $\pi$ . Si unificherebbero così i due significati della parola *pressione* e si descriverebbero in modo unitario i due tipi di fatti osservati.

Vi sono però alcune obiezioni.

La pressione perderebbe il carattere di grandezza scalare e di grandezza che descrive lo stato interno del fluido. Poiché la velocità del fluido dipende dal sistema di riferimento inerziale scelto, cambiando il riferimento cambierebbe anche la pressione.

Se si vuole conservare alla pressione il carattere di grandezza termodinamica di stato, è chiaro che questa situazione non è accettabile.

Si deve allora precisare che la pressione è misurata dalla forza normale per unità di superficie esercitata dal fluido su una parete esterna *che sia in quiete rispetto al fluido*. Ciò la pressione è data dal tensore  $\pi$  nel riferimento proprio dell'elemento di fluido considerato. In questo modo la pressione diventa un invariante rispetto a trasformazioni galileiane del riferimento inerziale.

La *densità superficiale di forza*, ovvero la pressione esercitata su una parete, è indicata invece dal tensore  $\pi$  calcolato in un riferimento inerziale in quiete rispetto alla parete, cioè nel riferimento proprio della parete.

### 3. La legge di Stevin

Mi sono convinto che la formulazione usuale "a parole" della legge di Stevino è fuorviante: espressioni come "peso della colonna di liquido sovrastante", "il liquido esercita una pressione dovuta al suo peso", "l'aria anche ha un peso quindi, l'atmosfera pesa sulla terra, la schiaccia con una pressione", e simili, inducono la formazione di idee

sbagliate, se non sono accompagnate da ulteriori e più accurate argomentazioni.

Innanzitutto sulla base di questo tipo di formulazioni difficile convincersi che la pressione in una stanza è uguale alla pressione all'aperto, oppure capire il "paradosso idrostatico", e infatti molti studenti pensano che un liquido eserciti sempre sul fondo del recipiente una forza uguale al proprio peso, qualunque sia la forma del recipiente stesso.

È bene chiarire inoltre che, in presenza dell'aria, per calcolare la forza che il liquido esercita sul recipiente occorre tenere conto della pressione atmosferica, il cui effetto può essere preponderante. Per esempio, tenendo conto che in condizioni ordinarie la pressione atmosferica corrisponde ad un dislivello di acqua di circa 10 m, per un recipiente aperto, con pareti laterali verticali, alto 50 cm, pieno d'acqua, la forza esercitata dall'acqua sul fondo del recipiente sarebbe circa 21 volte il peso dell'acqua.

Un test che ho sottoposto a 56 studenti di scuola secondaria superiore conteneva una domanda in cui chiedevo se la pressione atmosferica misurata all'aperto risultava uguale, maggiore o minore di quella misurata dentro l'aula. Solo 9 studenti hanno risposto che la pressione era uguale.

Nello stesso test un'altra domanda chiedeva di confrontare la pressione agente su due pesciolini che si trovano alla stessa quota ma l'uno in mare aperto e l'altro in una grotta (v. fig. 2). Solo 4 studenti su 56 hanno risposto che la pressione era uguale. È importante rilevare che le risposte fornite risultano largamente indipendenti dall'anno di corso frequentato (7).

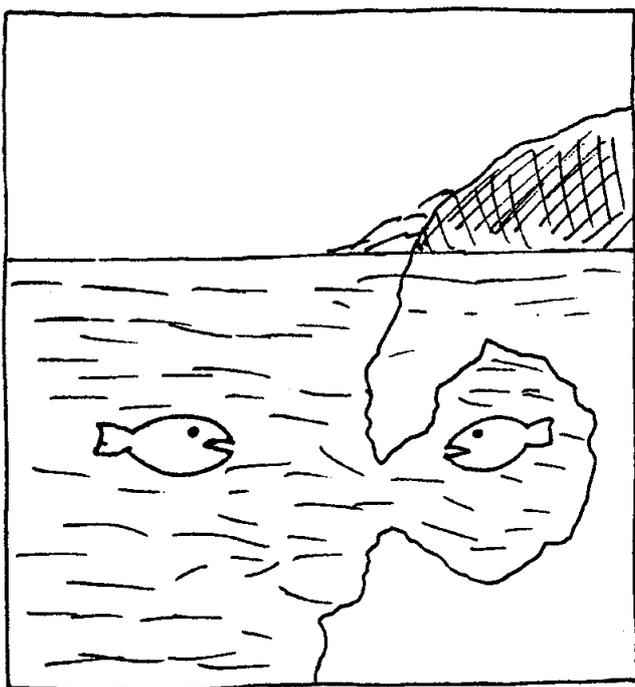


Fig. 2 - I pesciolini.

Le formulazioni prima indicate relative alla legge di Stevino possono favorire un altro errore concettuale, a mio avviso molto più grave. L'insistenza quasi esclusiva sul peso come *causa* della pressione idrostatica porta infatti a pensare che la pressione del liquido e nel liquido non solo è dovuta al peso, è uguale al peso, ma è *il peso*.

Per verificare questa ipotesi ho sottoposto ad alunni insegnanti di Fisica e/o Matematica un test in cui era presente il seguente quesito:

"Esistono in natura quattro forze o interazioni fondamentali: gravitazionale, elettromagnetica, nucleare forte, nucleare debole. Quando si va sott'acqua, al mare o in piscina, si sente un fastidio o un dolore all'orecchio, dovuto al fatto che l'acqua esercita una forza sull'orecchio, che diventa più intensa se si scende ad una profondità maggiore. Infatti, la pressione aumenta con la profondità. Questa forza, che l'acqua esercita sull'orecchio è di tipo:

- a) gravitazionale                      c) forte  
b) elettromagnetico                  d) debole  
Spiegate la risposta data."

Su 23 insegnanti, *tutti* hanno risposto che la forza è di tipo gravitazionale.

È chiaro che l'esiguità del campione non consente di trarre conclusioni statisticamente significative, ma l'unanimità della risposta segnala certamente l'esistenza di un problema.

Le motivazioni espresse (poche purtroppo) sono le seguenti:

"In quanto è la forza di gravità che agisce sulla massa d'acqua soprastante l'orecchio".

"La forza è dovuta al peso della colonna d'acqua soprastante (legge di Stevino)".

"Peso colonna acqua sopra persona. Pressione esterna non equilibrata da pressione interna".

"La pressione è dovuta alla forza peso dell'acqua".

"La forza esercitata è la forza peso".

Queste motivazioni confermano l'esistenza di una incomprensione in cui gli insegnanti sono caduti a causa delle usuali formulazioni della legge di Stevino.

Si potrebbe obiettare che la domanda è in realtà una domanda trappola che suggerisce la risposta sbagliata a causa della sua formulazione tendenziosa in quanto, insistendo sul fatto che la pressione aumenta con la profondità, induce a concentrarsi sulla causa di tale aumento più che sulla natura della forza stessa. Ciò è in parte vero ma conferma appunto che questo tipo di formulazioni e questa insistenza sul peso come causa della pressione, senza ulteriori precisazioni sulla natura delle interazioni presenti nel fluido, favoriscono fraintendimenti ed equivoci.

D'altronde è sufficiente spostare l'attenzione su ciò che accade nelle vicinanze dell'orecchio

per convincersi facilmente che il peso è una forza tra la Terra e il liquido e non riguarda le interazioni fra liquido e orecchio, che la forza sull'orecchio è esercitata dalle particelle di liquido ad esso prossime, che le interazioni gravitazionali fra liquido e uomo sono assolutamente trascurabili (e comunque sono attrattive mentre la pressione è repulsiva), che quindi, escludendo com'è ovvio fenomeni nucleari, non resta che l'interazione elettromagnetica fra gli atomi e le molecole del fluido e dell'orecchio.

In effetti brevi colloqui avuti con alcuni insegnanti hanno mostrato che in genere bastano poche osservazioni per fare subito capire l'errore commesso, il che conferma che ci si trova di fronte ad un abbaglio, ad un riflesso condizionato dovuto all'abitudine e ad un cortocircuito logico troppo spesso letto, ascoltato e ripetuto.

Un'altra obiezione potrebbe essere che nel quesito si opera un salto di "livello esplicativo" non ben segnalato, passando da una descrizione macroscopica e fenomenologica ad una microscopica e carica di teorie fondamentali.

D'altronde l'idea dell'esistenza diffusa di questa confusione concettuale mi è venuta indipendentemente dal test, durante numerosi colloqui con studenti ed insegnanti (e dopo essermi colto una volta io stesso, lo confesso, a fare affermazioni simili in classe). Ho ideato il test solo successivamente per cercare una ulteriore verifica, peraltro abbastanza clamorosa.

#### 4. Peso, gravità e dintorni

Tutta questa faccenda segnala un altro problema non secondario: l'uso e l'abuso della parola *peso* e dei suoi derivati, verbi e aggettivi.

Si ha un bel dire e ripetere che il peso di un oggetto è la forza esercitata dalla Terra sull'oggetto stesso. Nell'immaginario comune il peso è una proprietà intrinseca dell'oggetto e soprattutto attiva, una *virtù* che l'oggetto possiede e può esercitare su altri oggetti a contatto: "mi schiacci con il tuo peso"; "metti il tuo peso da questa parte"; "mi pesi"; "su questa decisione ha molto pesato il suo parere" ... Dall'uso, anche figurato, è evidente che il peso è considerato un'azione esercitata dall'oggetto che pesa, non un'azione che su di esso è esercitata dalla Terra. Ed è qualcosa che si trasmette, tutto o in parte, agli oggetti vicini.

In un colloquio avuto con una ragazza di 15 anni, ella ha sostenuto con tenacia, quasi con passione, che il peso non è una forza applicata all'oggetto ma una proprietà intrinseca dell'oggetto, mentre altra cosa è la gravità o forza di gravità. Alla fine, un po' seccata per le mie insistenze, ha concluso "va bene, certo posso anche dire che il peso è una forza, ci metto la freccia ed è una forza. Ma non è veramente una forza!".

D'altronde l'esistenza di questa tenace immagine del peso come "virtù" che si trasmette a chi sta sotto è confermata dal fatto che il paradosso idrostatico sia considerato appunto paradossale, quindi contrario al nostro senso comune.

Secondo Piaget, cfr. [15] pag. 94, nell'idea di peso del senso comune si trovano, inizialmente indifferenziati, due significati diversi: il peso-quantità e il peso-azione.

Dupré (cfr. [6] pag. 133) rileva che "per il senso comune il peso non è una forza ... il peso sarebbe un attributo dei corpi più o meno equivalente alla massa, che ha fra le sue proprietà quella di esercitare una forza".

Anche i libri di testo di Fisica a volte favoriscono e consolidano queste idee di senso comune, in particolare identificando nel peso la forza con cui un oggetto preme su un tavolo su cui è poggiato o la forza con cui esso tira qualcosa a cui è appeso, commettendo lo stesso tipo di errore degli insegnanti del test. Alcuni esempi:

"Un'asta rigida viene ... equilibrata, agganciandola a un dinamometro nel suo centro O... Si applicano nei punti A e B dell'asta le forze peso  $2P$  e  $3P$  ..." da [3] pag. 127;

"Osserviamo che la forza di attrito più in generale è direttamente proporzionale alla forza che preme il corpo contro il piano di appoggio, nelle esperienze descritte sopra la forza premente è costituita soltanto dal peso." da [3] pag. 119;

"L'esperienza dimostra che  $F_0$  è proporzionale alla forza  $G$  che preme l'uno contro l'altro i due corpi perpendicolarmente alla superficie di contatto:  $F_0 = fG$ . Nell'esempio considerato  $G$  è ovviamente il peso  $P$  del blocchetto..." da [19] pag. 91;

"La forza d'attrito è proporzionale alla forza  $\vec{N}$  che preme l'una contro l'altra le due superfici (in questo caso si tratta della forza di gravità)." (didascalia di una figura in cui si vede un camion e sono rappresentate la forza di attrito e la forza  $\vec{N}$  applicata nel punto di contatto ruota-strada), da [4] pag. 90.

Verrebbe da dire che la colpa è dei fisici che, come d'uso, prendono le parole comuni e le adattano, deformano, storpiano, incapsulano per utilizzarle in Fisica con il rigore e la coerenza necessari. Ma che fatica per chi deve imparare! E per chi deve insegnare. E quanti malintesi! Forse sarebbe meglio usare l'espressione "forza di gravità" e basta, evitando così anche tante disquisizioni sulle differenze e sulle somiglianze fra massa e peso, pesate e "massate". Basta insomma con il peso in fisica! Anche perché per molti autori il peso non si identifica con la forza di gravità, ma è la risultante di essa e della forza centrifuga dovuta alla rotazione della Terra (cfr. [5] pag. 256, [8] pag. 42, [3] pag. 275, [5] pag. 256); non tutti però sono d'accordo, cfr. ad es. [7] pag. 348. Per non parlare del "peso apparente" e dell'"assenza di peso" nelle navicelle spaziali. Che fatica!

Trovo normale e giustificato faticare per spiegare le cose difficili della Fisica, che sono tante, ma aggiungerci il carico (il peso) di falsi problemi dovuti ad incongruenze e intersezioni lessicali col parlare comune mi sembra infierire troppo e inutilmente. Sono convinto infatti che in alcuni casi non si tratti di interferenze, che sono inevitabili, fra pensiero spontaneo e Fisica ma anche di complicazioni solo lessicali che potrebbero facilmente essere evitate. Penso che ciò sia dovuto al fatto che il pensiero spontaneo ha agito sugli scienziati stessi, producendo, nelle fasi iniziali della costruzione della teoria, contaminazioni lessicali e concettuali che nella fase matura sono rimaste, per pigrizia e per amore della tradizione, come fossili della fase eroica, a volte innocui ma spesso fastidiosi e problematici (8).

## 5. Osservazioni didattiche

Si possono trarre alcune indicazioni didattiche da questi risultati.

L'affermazione "la pressione idrostatica nel liquido è dovuta al peso" è in sostanza giusta ma anche ambigua e fuorviante. In definitiva per molti la legge di Stevino  $\Delta p = \mu gh$  oppure  $\text{grad} p = \mu \vec{g}$  risulta una *definizione* della pressione idrostatica (cioè la pressione è il peso della colonna ... diviso la superficie, quindi  $\mu gh$ ), invece che una *legge di equilibrio*, fra due forze, le forze di superficie e le forze di volume, ben distinte e di natura differente.

È importante chiarire bene inoltre che la relazione è fra differenze di pressione e differenze di quota e non fra pressione e quota e che la legge nella forma  $\Delta p = \mu gh$  è valida solo per densità costante.

È necessario spostare l'attenzione dello studente dall'immagine del liquido o del gas che pesa sugli strati sottostanti all'immagine delle particelle del fluido che spingono da tutte le parti contro le parti vicine di fluido o contro la parete solida.

Per quanto riguarda i gas bisogna evitare quella specie di "doppiezza" per cui quando si considera il modello cinetico del gas la pressione è dovuta al movimento delle molecole e la forza esercitata sulla parete del recipiente è dovuta agli urti delle molecole, mentre quando si parla di pressione atmosferica la pressione è dovuta al peso dell'atmosfera ("enorme" perché l'aria ha basso peso specifico ma l'atmosfera è alta chilometri), dimenticando del tutto il movimento delle molecole.

Da qui proviene la difficoltà ad accettare che la pressione dentro una stanza possa essere uguale alla pressione all'aperto.

Per mettere in evidenza queste ambiguità e superarle, può essere utile la discussione del seguente esperimento, che ho visto eseguire nel film didattico "Un oceano d'aria" facente parte della serie "Fisica e senso comune" prodotta dalla RAI.

Si esegue il classico esperimento di Torricelli per misurare la pressione atmosferica. Invece della vaschetta aperta si usa però "un apparecchio costituito da un recipiente a tenuta in cui è stata immessa la canna torricelliana, che può essere messo in comunicazione con l'aria esterna mediante un rubinetto".

Si porta l'apparecchiatura a livello del mare, si apre il rubinetto e si misura l'altezza della colonna di mercurio. Quindi si chiude il rubinetto e si porta l'apparecchiatura in montagna. Si osserva che l'altezza del mercurio resta uguale. Quindi si apre il rubinetto e si osserva che il livello del mercurio scende.

L'esperimento mostra la differenza di pressione al mare e in montagna, ma mostra anche che quando il rubinetto viene chiuso il livello del mercurio non varia e quindi la pressione dell'aria nel recipiente chiuso è uguale alla pressione atmosferica al mare e resta tale anche in montagna, cioè dipende dalle proprietà dell'aria vicino al mercurio (9).

La pressione atmosferica crea spesso un altro problema: si tende a dimenticarne l'esistenza, considerando di fatto solo la differenza rispetto ad essa.

Un esempio si è visto nel paragrafo 3, nella discussione del paradosso idrostatico. Un altro esempio tipico è la pressione del sangue. Bisognerebbe precisare chiaramente che ciò di cui si parla e che si misura è la *pressione transmurale*, cioè la differenza fra la *pressione vascolare*, che è la vera pressione del sangue contenuto nei vasi, e la *pressione tissutale*, che si esercita dall'esterno sul vaso. Si trovano invece testi in cui si continua a parlare di *pressione del sangue* senza esplicitare il sottinteso che si tratti di una differenza di pressione, mettendo in difficoltà il lettore meno accorto (10).

## Note

- (1) Si parla allora di "forze superficiali". Fra parentesi non è necessario che si tratti di forze di contatto, anche se è il caso più frequente. Un esempio è la "pressione elettrostatica" su un conduttore: le forze elettriche agiscono solo su un sottile strato superficiale, dove si distribuiscono le cariche, ma sono dovute alla presenza di cariche lontane.
- (2) Trovo una certa somiglianza con la coppia lavoro-energia, dove il primo rappresenta una interazione e la seconda una grandezza di stato. E si fanno molte confusioni.
- (3) Mi consola rilevare che qualcuno, tenendomi rassicurante compagnia nel mio stupore, definisce *paradosso idrodinamico* il fatto che dove la velocità è maggiore la pressione è minore. Cfr. [3] pag. 320.
- (4) Il teorema di Bernoulli in una forma generalizzata del tipo  $gz + v^2/2 + \int dp/\mu = \text{cost}$  può essere ottenuto anche nell'ipotesi di densità variabile (cfr. [8] pag. 270 e [9] pagg. 20 e 32). D'altronde in tutti i testi

non specialistici, cioè di Fisica generale e non di Meccanica dei fluidi, che ho consultato viene esplicitamente utilizzata l'ipotesi di densità costante (oltre a quella di assenza di viscosità). Spesso si precisa che l'equazione trovata vale con buona approssimazione anche se la densità varia di poco, per cui si può applicare in molti casi anche all'aria, portando esempi tipo l'ala dell'aereo, il nebulizzatore, il carburatore, il becco Bunsen, l'effetto Magnus. Cfr. [1], [2], [3], [4], [5], [7], [10], [11], [13], [14], [18], [19]. Solo in [7] si trova un cenno alla possibilità di estendere il teorema al caso di fluidi compressibili, con opportuna modifica.

- (5) Lo stesso accade per le reazioni vincolari nella meccanica dei corpi rigidi. La natura e l'origine di tali forze sono assolutamente inspiegabili nell'ambito del modello di corpo rigido, anche se il modello stesso ne impone l'esistenza. Le reazioni vincolari trovano infatti la loro spiegazione solo in presenza di deformazioni.
- (6) Un mezzo molto efficace usato dalla polizia per disperdere un assembramento di manifestanti è l'uso di idranti. Si parla allora, da parte di alcuni, di repressione.
- (7) Un'analisi più approfondita del test si trova nella mia tesi di laurea "Una ricerca didattica sul concetto di pressione", Roma 1990, relatore Franco Dupré.
- (8) Alcuni esempi sono il calore latente, la capacità termica, la forza viva (ormai in disuso per fortuna).
- (9) Fra parentesi nel film quando la sperimentatrice apre il rubinetto in montagna dice "facciamo entrare l'aria", mentre evidentemente l'aria già era nel recipiente chiuso ed anzi aprendolo esce un po' di aria, essendo la pressione dell'aria nel recipiente maggiore della pressione atmosferica esterna.
- (10) È quanto succede, per es., in [1] a pag. 222, dove si dice anche, senza ulteriori specificazioni, che "nelle grosse vene, in prossimità del cuore, la pressione si annulla, diventando alla fine addirittura negativa, per l'azione aspiratrice del cuore".

### Riferimenti bibliografici

- [1] AGENO M.: *Elementi di Fisica*, Boringhieri, 1956.
- [2] BERNARDINI G.: *Fisica generale I*, Roma, Veschi, 1974.
- [3] CAFORIO A.; FERILLI, A.: *Physica*, Vol. 1, Firenze, Le Monnier, 1991.
- [4] CALVANI P.; MARAVIGLIA B.: *Introduzione alla Fisica*, Bari Laterza, 1982, Vol. 1.
- [5] CASTAGNOLI C.: *Elementi di Fisica*, Torino, SEI, 1980.
- [6] DUPRÉ F.: "Gravità, pressione dell'aria e senso comune", *La Fisica nella scuola*, XIX, 1986, pag. 129.
- [7] HALLIDAY D.; RESNIK R.: *Fisica generale*, Casa Editrice Ambrosiana, 1966.
- [8] JAVORSKIJ B.M.; DETLAF A.A.: *Manuale di Fisica*, Edizioni Mir, Mosca, 1977.
- [9] LANDAU L.; LIFCHITZ E.: *Mécanique des fluides*, Editions Mir, Moscou, 1971.
- [10] MANUZIO G.; PASSATORE G.: *Verso la Fisica*, Principato, Milano, 1981, Vol. 1.
- [11] MENUCCINI C.; SILVESTRINI V.: *Fisica I*, Liguori, Napoli, 1987.
- [12] NOCE G.; TOROSANTUCCI G.; VICENTINI MISSIONI M.: "Peso, aria, gravità: rappresentazioni mentali a vari livelli di età", *La Fisica nella scuola*, XIX, 1986, p. 242.
- [13] PANITTERI M.; BARCIO S.; CORSELLO A.: *Fisica per i licei scientifici*, Paravia, Torino, 1981, Vol. 1.
- [14] PERUCCA E.: *Fisica generale e sperimentale*, UTET, Torino, 1966, Vol. 1.
- [15] PIAGET J.; GARCIA R.: *Esperienza e teoria della causalità*, Laterza, Bari, 1973.
- [16] RUGGIERO S.; CARTELLI A.; DUPRÉ F.; VICENTINI MISSIONI M.: "Gravità e pressione dell'aria", *La Fisica nella scuola*, XVII, 1984, p. 83 - "Weight, gravity and air pressure", *Eur. Sc. Educ.*, 7, 1985, p. 181-194.
- [17] SÉRÉ M.G.: *Thèse de doctorat ès Sciences Physique*, Université Paris 6, 1985.
- [18] TIPLER P.A.: *Invito alla fisica*, Zanichelli, Bologna, 1990, vol. 1.
- [19] TORALDO G.; CIANCHI L.; MANCINI M.: *Fisica*, La Nuova Italia, Firenze, 1983, vol. 1.