

A02



*Vai al contenuto multimediale*

Luigi Capuozzo

**Il laboratorio di Fisica**





Aracne editrice

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)  
[info@aracneeditrice.it](mailto:info@aracneeditrice.it)

Copyright © MMXVII  
Gioacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

[www.gioacchinoonoratieditore.it](http://www.gioacchinoonoratieditore.it)  
[info@gioacchinoonoratieditore.it](mailto:info@gioacchinoonoratieditore.it)

via Vittorio Veneto, 20  
00020 Canterano (RM)  
(06) 45551463

ISBN 978-88-255-0713-3

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,  
di riproduzione e di adattamento anche parziale,  
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie  
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: ottobre 2017

*Alla mia famiglia*



# Indice

- 9 *Introduzione*
- 11 **Capitolo I**  
*Percezione e conoscenza*  
1.1. La percezione dei fenomeni, 011
- 21 **Capitolo II**  
*La misura*  
2.1. Le grandezze fisiche, 21 – 2.2. La misurazione, 22 – 2.3. Le unità di misura, 23 – 2.4. Gli strumenti di misura, 29 – 2.4.1. *Gli strumenti di misura analogici*, 29 – 2.4.2. *Gli strumenti di misura digitali*, 30 – 2.5. Caratteristiche degli strumenti di misura, 31
- 37 **Capitolo III**  
*Teoria degli errori*  
3.1. Incertezza delle misure, 37 – 3.2. Gli errori di misura sistematici, 38 – 3.2.1. *Errori di sensibilità*, 38 – 3.2.2. *Errori causati dall'accuratezza*, 41 – 3.3. Gli errori di misura accidentali, 42 – 3.4. L'incertezza nelle misure ripetute, 45 – 3.5. L'incertezza relativa, 47
- 51 **Capitolo IV**  
*Le grandezze fisiche*  
4.1. La lunghezza, 51 – 4.2. Il calibro a cursore ventesimale, 55 – 4.3. La superficie, 61 – 4.4. Incertezza delle misure indirette, 67 – 4.4.1. *Dimostrazione del teorema di propagazione degli errori in casi particolari*, 71 – 4.5. Il volume, 73 – 4.6. Il cilindro graduato, 76 – 4.7. Il tempo, 77 – 4.8. La massa, 85 – 4.9. La forza, 91
- 99 **Capitolo V**  
*La correlazione tra grandezze fisiche*  
5.1. La ricerca di un nuovo metodo scientifico, 99 – 5.2. Il piano cartesiano, 102 – 5.3. Il metodo sperimentale, 105 – 5.4. La correlazione lineare, 110 – 5.5. La correlazione non lineare, 115 – 5.5.1. *La correlazione quadratica*, 115 – 5.5.2. *La proporzionalità inversa*, 117 – 5.6. Il pendolo fisico, 120 – 5.6.1. *Correlazione tra il periodo di oscillazione e la massa oscillante*, 121 – 5.6.2. *Correlazione tra il periodo di oscillazione e la lunghezza del pendolo*, 122 – 5.7. La deformazione elastica, 124 – 5.7.1. *Misura della costante elastica di una molla elicoidale*, 127

129    Capitolo VI

*Grandezze scalari e vettoriali*

6.1. Grandezze vettoriali, 129 – 6.2. Operazioni con i vettori, 132 – 6.2.1. *Verifica della regola del parallelogramma*, 134

137    *Bibliografia*

## Introduzione

Il testo vuole fornire gli elementi essenziali del metodo scientifico sperimentale il cui sviluppo a partire dal XVII secolo ha consentito l'enorme progresso della Fisica e delle altre scienze.

Al lettore interessato è richiesta una conoscenza degli aspetti fondamentali di Matematica che si possono ritenere completamente acquisiti, nel nostro ordinamento scolastico, a livello di biennio di Scuola Media Secondaria.

Ritengo che la conoscenza dei concetti fondamentali del metodo sperimentale sia essenziale per lo sviluppo di una adeguata mentalità scientifica e che essa debba essere patrimonio culturale di ogni cittadino *consapevole*.

Il libro, tra le altre finalità, ha quella di affermare l'importanza della pratica di laboratorio nell'insegnamento perché spesso le sue notevoli potenzialità sia motivazionali sia di apprendimento sono sottovalutate.

Nel redigere questa testo non ho avuto, né avrei desiderato avere, alcuna pretesa di completezza degli argomenti trattati; il testo quindi non è una raccolta sistematica di esperienze con le quali verificare leggi della Fisica già note *a priori* ma indica piuttosto i punti salienti di un percorso formativo che ha come obiettivo l'acquisizione di metodologie e competenze, applicabili anche in campi diversi da quello della scienza.

Naturalmente l'effettiva acquisizione del metodo sperimentale non può avvenire solo *leggendo* il testo; il lettore volenteroso dovrà condurre *in prima persona* le attività illustrate, naturalmente nel rispetto delle procedure di sicurezza.

La quasi totalità della strumentazione e delle apparecchiature utilizzate per l'esecuzione degli esperimenti indicati nel testo può essere acquistata a basso costo o essere prodotta con l'uso di materiale facilmente reperibile nella quotidianità.

I punti salienti del percorso formativo si possono così sintetizzare:

- a) la misurazione di grandezze fisiche e gli strumenti di misura;
- b) l'incertezza della misura e la teoria degli errori;
- c) la correlazione tra grandezze fisiche.

L'Autore spera che il testo possa conseguire gli obiettivi per cui è stato scritto.

In quanto è un sapere sulla totalità del mondo naturale, la Fisica non è solo una conoscenza specialistica ovvero un insieme di ricette utili per sviluppare tecnologia ma ha un profondo significato culturale che non può essere sottovalutato se si vuole comprenderne appieno il significato ed anche apprezzarne la bellezza.

Infine sarò grato a coloro che vorranno segnalare errori, imprecisioni e parti poco chiare del testo (di cui mi scuso fin d'ora) affinché possa provvedere alle correzioni e modifiche necessarie contribuendo così a migliorare la qualità di questo lavoro.

## Percezione e conoscenza

### 1.1. La percezione dei fenomeni

La parola Fisica deriva dal greco  $\Phiύσις$  che significa natura; in greco tale termine ha differenti accezioni: esso indica, ad esempio, sia la totalità dei corpi costituenti il mondo naturale sia i principi che guidano la sua evoluzione. La Fisica, in quanto scienza, si connette proprio al secondo significato che gli antichi Greci attribuivano al termine.

Molti processi naturali sembrano avvenire in modo determinato e con regolarità; se si lascia cadere una pietra da una certa altezza rispetto al suolo essa cadrà verso il basso fino a raggiungere il piano orizzontale con una certa velocità.

Questo comportamento si manifesterà di nuovo ed in modo praticamente identico se la pietra viene riportata nella posizione iniziale ed è lasciata ricadere nelle stesse condizioni.

La regolarità con cui avvengono i processi naturali fa nascere l'idea che essi accadano seguendo regole precise insite nella natura stessa obbedendo cioè a quelle che si chiamano *leggi fisiche*.

La Fisica è quella parte del sapere che raccoglie le conoscenze dei processi fisici e delle leggi che regolano la loro evoluzione.

La conoscenza del fenomeno fisico presuppone:

- a) un'interazione tra l'uomo e l'ambiente cioè tra il soggetto conoscente e l'oggetto conosciuto;
- b) un'elaborazione mentale sul risultato dell'interazione.

L'interazione con l'ambiente avviene tramite gli organi del senso di cui l'uomo è dotato; ciascun organo è connesso a terminazioni nervose

(ad esempio i *coni* ed i *bastoncelli* presenti nella retina dell'occhio o il *timpano*, membrana presente nell'orecchio) che, opportunamente stimolati, producono impulsi nervosi, segnali di natura elettrica e chimica che giungono a specifiche aree del cervello dove si generano rappresentazioni mentali cioè le *percezioni*.

Si può affermare che stimoli uguali prodotti dall'ambiente producano identiche percezioni in individui diversi? La risposta è negativa.

In medicina è noto che circa l'8% della popolazione umana presenta una anomalia visiva, di origine genetica, consistente in un'alterata percezione dei colori (frequente è la caratteristica per cui si scambia il colore rosso con il verde e viceversa). Questo disturbo visivo viene detto *daltonismo*, dal nome del fisico e chimico John Dalton (1766 - 1844), che lo scoprì perché ne soffriva lui stesso.

La bandiera della Guinea e quella del Mali sono costituite da fasce verticali dello stesso colore; entrambe le bandiere hanno la fascia centrale gialla; quella del Mali ha però la fascia verde più vicina al pennone mentre quella della Guinea ha la stessa fascia di colore rosso; le fasce laterali sono dunque invertite nei colori rosso e verde. La bandiera in figura 1.1 è la bandiera del Mali o della Guinea?

La maggioranza degli interpellati risponderà che la bandiera è quella del Mali perché la fascia vicina al pennone è di colore verde e quella a destra è di colore rosso.

Eppure qualcuno potrebbe affermare che la bandiera è quella della Guinea e non per aver frainteso l'informazione iniziale o per un sem-



**Figura 1.1.** È la bandiera del Mali o della Guinea?

plice errore di distrazione, ma proprio perché *vede* la fascia rossa vicino al pennone e quella verde all'estremità opposta.

Una domanda è spontanea: quale è il *vero* colore delle fasce?

La fasce però di per sé non hanno alcun colore e la bandiera è, in qualche modo, *sia* la bandiera del Mali *sia* quella della Guinea.

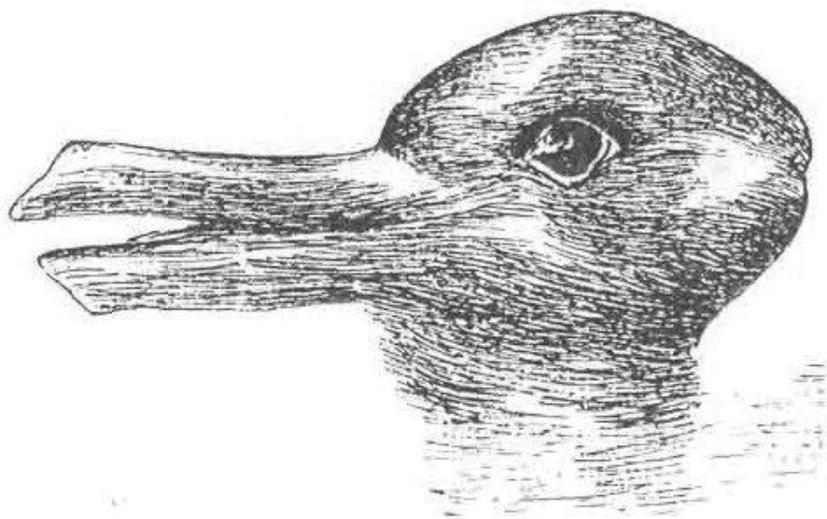
Il daltonico considera reali i colori della bandiera da lui percepiti così come il non daltonico; la discussione che potrebbe instaurarsi tra di loro sul valore di verità delle proprie affermazioni non può che risultare una sterile polemica.

In pratica in queste condizioni si ricorre al parere di altri. Si supponga che una terza persona si schieri con l'opinione del non daltonico; anche in questo caso però una assegnazione di verità non è possibile perché la persona daltonica potrà pur sempre sostenere che entrambi i suoi interlocutori sbagliano!

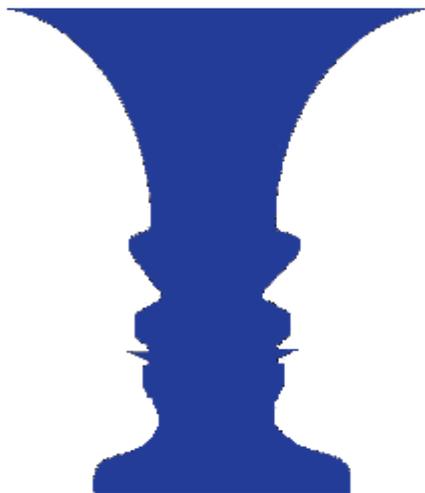
In effetti per poter procedere ad assegnare un valore di verità occorre presupporre che vi sia una maggioranza ampia che sostenga l'una o l'altra tesi.

Su cento persone interpellate su quale Stato rappresenti la bandiera di figura 1.1 pochi darebbero ragione al daltonico perché solo l'8% circa della popolazione è affetto da qualche forma di daltonismo.

Quindi noi diciamo che il daltonico *sbaglia*, che egli ha un difetto visivo genetico e diciamo che il colore vero della fascia della bandiera



**Figura 1.2.** Anatra o coniglio?



**Figure 1.3.** Un vaso o i profili di due volti?

vicino al pennone è quello verde. Non si deve dimenticare però che questa verità è *relativa*, non assoluta. Se infatti l'umanità venisse a contatto con una popolazione aliena costituita da individui *tutti* daltonici e se questa popolazione fosse molto più numerosa della razza umana, ecco che ora i non daltonici umani sarebbero quelli che sbagliano, quelli con un difetto visivo genetico.

Agli inizi del XX secolo in Germania si sviluppò una teoria di Psicologia, nota come *Teoria della gestalt*<sup>1</sup>, la quale poneva al centro della sua indagine scientifica i processi con cui il cervello percepisce gli oggetti ed in particolare la loro forma.

Tra i punti salienti della teoria vi è l'idea che la percezione dell'oggetto non sia semplicemente la somma delle sensazioni prodotte nel percipiente ma implichi un meccanismo più complesso.

Questa posizione teorica è ben descritta dalla affermazione che “il tutto *non* è la somma delle parti” con cui gli psicologi della *gestalt*, sovvertendo il fondamento della logica e della scienza classica, individuano nell'intuizione un fattore essenziale per la percezione del mondo esterno.

Nel corso del secolo scorso, a causa dello sviluppo di nuove metodologie di ricerca e di nuove possibilità sperimentali offerte dalla tecnologia, la teoria è venuta perdendo importanza; a tale corrente di

---

1. *Gestalt* in lingua tedesca significa forma.

pensiero tuttavia deve essere riconosciuto il merito di aver messo in luce i limiti e gli errori in cui il cervello può incorrere fondandosi sulla sola percezione.

La ricerca degli psicologi della *gestalt* ha prodotto molte immagini in cui la forma e le dimensioni di un oggetto sono incerte o errate.

Le *figure bistabili* sono immagini in cui il soggetto percipiente non riesce a dare una rappresentazione univoca dell'oggetto osservato ma *oscilla* tra due differenti percezioni secondo il punto della immagine in cui si focalizza lo sguardo.

Nella figura 1.2 ad esempio si può osservare la testa di una anatra o quella di un coniglio ed anche in questo caso si può affermare che l'immagine rappresenta *sia* un'anatra *sia* un coniglio.

Nella figura 1.3 invece si può osservare un vaso oppure si possono scorgere i profili di due volti disposti in modo simmetrico.

Le *figure reversibili* sono quelle in cui l'immagine percepita è univocamente determinata ma varia cambiando l'orientazione rispetto all'osservatore.

Ad esempio la figura 1.4 raffigura la testa di un cavallo, non vi sono dubbi. Se però si guarda la figura di lato si vedrà al posto del cavallo un rospo: una trasformazione come accade in certe fiabe quando un brutto rospo si trasforma in un bel principe!

Le *distorsioni geometriche* comportano errori nella valutazione delle proprietà geometriche delle figure rappresentate.

In figura 1.5 l'immagine a sinistra rappresenta due segmenti dispo-



**Figure 1.4.** Cavallo o rospo?

sti orizzontalmente: quale di essi è il più lungo? È probabile che si dica il segmento b ed infatti così sembra. Nella immagine a destra della stessa figura 1.5 il segmento AB sembra avere una lunghezza maggiore del segmento CD.

Se però si effettua un controllo con un *regolo* (assicella diritta di materiale rigido) ci si accorge che i segmenti a e b hanno la stessa lunghezza e così i segmenti AB e CD.

Per quale motivo il cervello commette questo errore?

Agli estremi del segmento a sono poste delle frecce che *racchiudono* il segmento; agli estremi del segmento b le frecce sono disposte in senso opposto e creano la falsa impressione di un segmento più lungo.

Il segmento AB è situato nella zona in cui le linee oblique convergono; il segmento CD invece si trova nella zona in cui le linee divergono.

Il cervello si lascia ingannare dalla particolare disposizione degli elementi esterni agli oggetti osservati e crede così che un segmento abbia lunghezza maggiore dell'altro. Questo effetto ottico spiega perché la Luna (o il Sole) quando è bassa sull'orizzonte appare molto più grande; essa infatti in questa prospettiva è più vicina agli oggetti terrestri (monti, mare, edifici eccetera).

Tra le distorsioni geometriche rientrano anche gli errori relativi al parallelismo tra rette. L'immagine a sinistra della figura 1.6 rappresenta rettangoli che appaiono deformati perché i lati verticali sono incurvati. Utilizzando un regolo e disponendolo allineato ai lati verticali dei rettangoli si verifica facilmente che essi sono diritti e che la percezione è errata. L'errore è causato dal tratteggio che riempie la superfi-

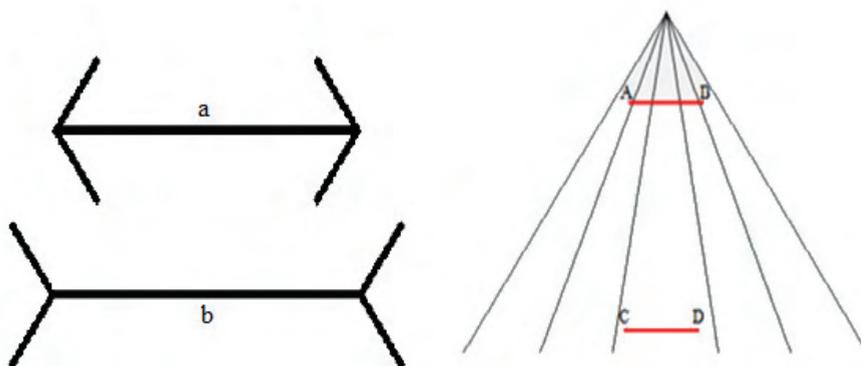


Figure 1.5. Distorsione della dimensione

cie dei rettangoli: la trama di segmenti obliqui produce la falsa impressione di curvatura dei lati.

Un effetto simile si verifica per le linee orizzontali a, b, c, d, e, f, g ed h dell'immagine a destra della figura 1.6; esse non sembrano *parallele* eppure si può verificare, utilizzando un regolo ed una squadra per il disegno, che esse invece lo sono.

Altri tipi di illusioni ottiche sono quelle di *completamento*, per cui il cervello percepisce forme geometriche che non sono effettivamente disegnate ma delineate da altre forme.

Nell'immagine a sinistra della figura 1.7 il cervello percepisce due triangoli che non sono disegnati. Nell'immagine di destra della stessa figura si vedono dei cerchi bianchi anch'essi non disegnati.

Infine un altro tipo di illusione ottica è costituita dalle *immagini impossibili* rappresentazioni nel piano di figure solide che però non sono possibili nello spazio tridimensionale. Nella figura 1.8 sono rappresentate due figure solide: un'osservazione attenta ci fa rendere conto che tali figure non possono essere proiezioni di figure spaziali. È facile rendersi conto che due lati del triangolo solido a sinistra nella figura 1.8 sono correttamente disposti ma che il terzo non lo è.

Analogamente la scala a destra della figura 1.8 non può esistere nello spazio tridimensionale; è sufficiente considerare che una persona che iniziasse a percorrerla dal suo punto più basso si ritroverebbe, dopo aver salito tutti i gradini, al punto di partenza!

Anche in questo caso la scala è rappresentata nel piano senza rispettare le regole della prospettiva con cui gli oggetti dello spazio tri-

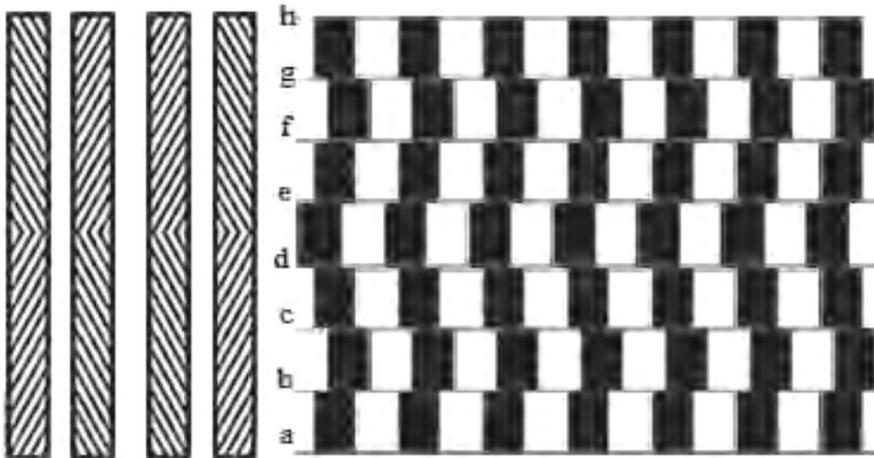
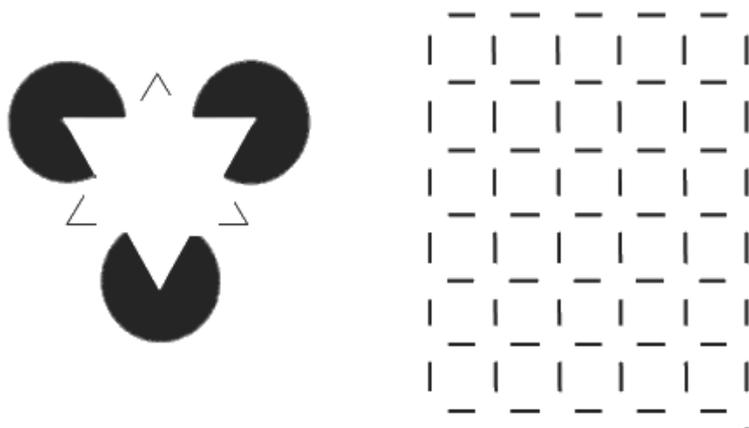


Figure 1.6. Distorsione del parallelismo



**Figure 1.7.** Triangoli e cerchi visibili ma non disegnati

dimensionale devono essere rappresentati nel piano. Il triangolo e la scala impossibili furono presentati nell'articolo *Impossible objects: a special type of visual illusion*, pubblicato nel 1958 sul «British Journal of Psychology», dallo psichiatra inglese Lionel Penrose (1898 – 1972) e da suo figlio, allora studente, Roger Penrose (nato nel 1931 e destinato a divenire uno dei più grandi matematici del XX secolo)<sup>2</sup>.

Le figure impossibili sono costruite applicando in modo errato le regole della prospettiva con cui un oggetto tridimensionale è rappresentato in un piano.

Sebbene si siano finora considerati esempi di percezioni erranee solo in relazione al senso della vista, la possibilità di percezioni ingannevoli è comune ad ogni tipo di sensazione come semplici esperienze provano.

A molti sarà capitato di avvertire come insopportabile un suono, ad esempio il ticchettio di una sveglia; in altre condizioni quel suono non avrebbe dato alcun fastidio ed anzi probabilmente non sarebbe stato neppure avvertito. Si deve ritenere che in entrambi i casi la stimolazione dell'organo dell'udito causata dalla sveglia sia la stessa, l'effetto prodotto, cioè la percezione, è però molto diversa; questo perché sulla percezione, come si è detto, ha un notevole effetto l'ambiente e la

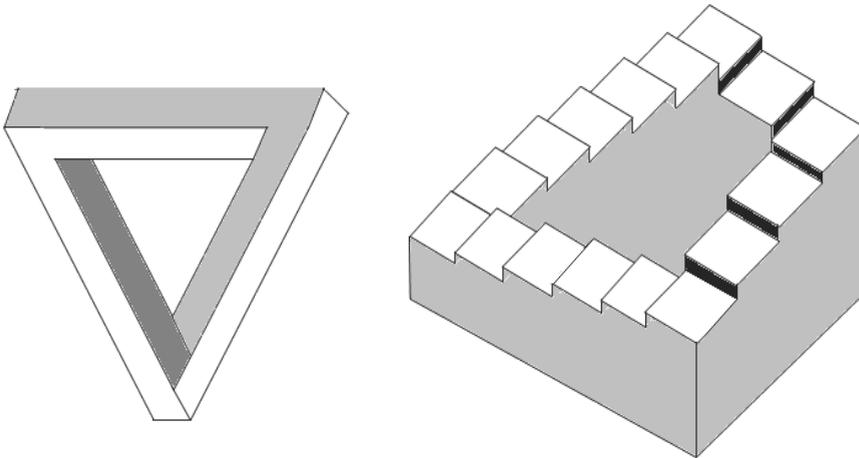
2. L'articolo fu portato a conoscenza di Maurits C. Escher (1898 – 1972), grande artista e grafico del secolo scorso, che trasse ispirazione dalle figure impossibili e produsse molte e famose opere basate su tali strutture, in particolare sulle scale impossibili.

struttura psicologica del soggetto. Si sorseggi un caffè non zuccherato dopo aver assaporato dei dolci: esso sembrerà amarissimo; se si ripete l'esperienza assaggiando lo stesso caffè dopo aver masticato dei chicchi di caffè, la sensazione di gusto amaro sarà meno forte.

Si può condurre anche quest'altra semplice esperienza: si prendano due recipienti contenenti rispettivamente acqua tiepida ed acqua fredda (che sia stata ad esempio tenuta in frigorifero per qualche tempo o nella quale siano stati disciolti pezzetti di ghiaccio).

Orbene si provi ad immergere la mano nell'acqua tiepida: si avrà una sensazione di caldo.

Si immerga ora la stessa mano nell'acqua fredda e la si immerga poi nell'acqua tiepida: essa sembrerà ora molto più calda di prima!



**Figure 1.8.** Figure impossibili

