

## TECNOLOGIA

## Individuare la posizione di un oggetto sulla superficie terrestre: il GPS

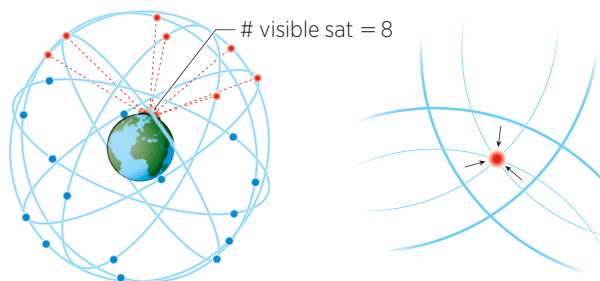
Per secoli gli uomini si sono orientati per terra e per mare grazie a mappe e a strumenti quali bussola e sestante. Oggi disponiamo però di una tecnologia straordinariamente potente, che ci permette di conoscere con accuratezza la nostra posizione in ogni parte del globo. Si tratta del GPS (Global Positioning System), un sistema talmente diffuso che ormai non soltanto le navi e gli aerei ma anche le automobili e perfino le biciclette possono essere dotate di un ricevitore.



Un satellite GPS.



I ricevitori GPS sono ormai parte della tecnologia quotidiana



Un ricevitore GPS è in grado di calcolare la propria distanza da almeno tre satelliti in orbita; dall'intersezione delle tre circonferenze centrate sul ricevitore, e di raggio pari alla distanza dai satelliti, si ricava la sua posizione sulla superficie terrestre.

### Orientarsi guardando il cielo

Il progetto GPS fu intrapreso dal governo degli Stati Uniti nel 1973, inizialmente per scopi militari, e divenne operativo nel 1994. Il principio su cui si basa è il seguente: un certo numero di satelliti in orbita intorno alla Terra (al momento una trentina) emette in continuazione un segnale radio contenente una serie di informazioni, in particolare la propria posizione nello spazio e l'istante preciso in cui il messaggio è stato trasmesso.

Il ricevitore a terra, che ha a sua volta un orologio (*clock*) molto preciso a bordo, calcola la propria distanza dal satellite in base al tempo  $t$  che il segnale ha impiegato per percorrere il tragitto. Visto che il segnale viaggia alla velocità della luce  $c$ , la distanza è  $d = ct$ . Questa distanza definisce una sfera di raggio  $d$  e centro nel satellite. Se il ricevitore è in grado di vedere 4 satelliti, l'intersezione delle 4 sfere relative ai satelliti definisce la posizione del ricevitore stesso (ricordiamo che l'intersezione di 2 sfere è una circonferenza, di 3 sfere sono 2 punti, di 4 sfere un punto). Se più di 4 satelliti sono visibili, il calcolo può essere reso ancora più accurato.

Il margine di errore ottenibile con il GPS è dell'ordine della decina di metri (10-20 metri). Se si ha bisogno di accuratezze maggiori (1-2 m), bisogna prendere in considerazione anche una stazione fissa a terra.

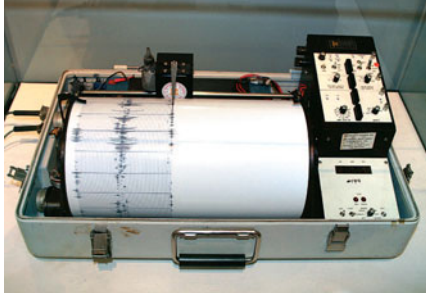
Un ricevitore GPS che sia in grado di funzionare al di sopra di 18 km di altitudine e 515 m/s di velocità viene classificato dal governo degli Stati Uniti come arma, perché può essere impiegato come sistema di guida di missili a lungo raggio.

**DOMANDA** Le misure che non si effettuano direttamente dal confronto con un campione, ma si ricavano da un'espressione matematica, sono dette *indirette*. Quali esempi di misure indirette hai incontrato in questo capitolo?

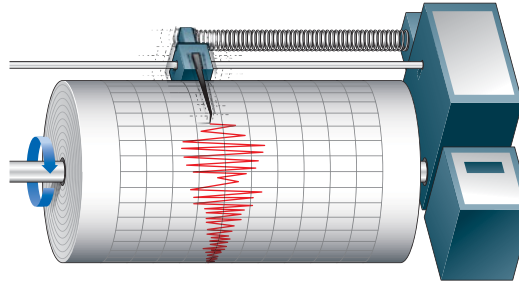
## TECNOLOGIA

### Il sismografo

Durante un terremoto una porzione di superficie terrestre si muove rispetto al resto del pianeta e in particolare rispetto a un sistema di riferimento in cui il suo baricentro è fermo. Ma come si fa a misurare lo spostamento del terreno con uno strumento che poggia direttamente su di esso? Il sismografo è uno strumento studiato appositamente per risolvere questo problema e tracciare i movimenti della superficie terrestre al passaggio di un'onda sismica.



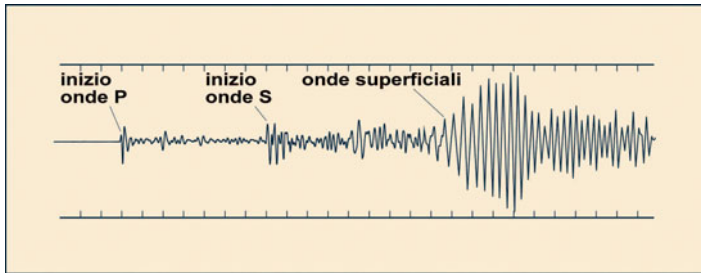
Yamaguchi



Un sismografo e uno schema del suo funzionamento che registra spostamenti orizzontali.

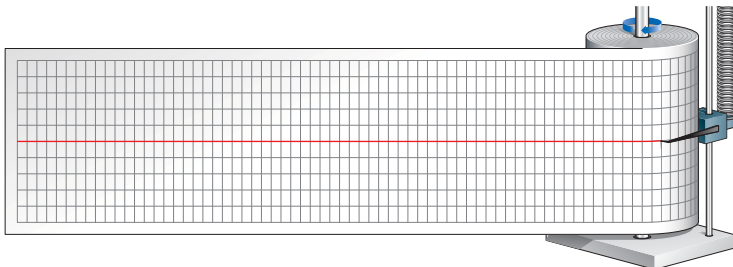
È formato da un rotolo di carta che scorre, al cui centro poggia un indice che, al passare del tempo, traccia un segno rettilineo in assenza di scosse. L'indice può scorrere in una direzione lungo un segmento ed è collegato a una molla che assorbe i movimenti del terreno per evitare che gli vengano trasmessi. In questo modo l'indice risulta fermo anche quando la Terra gli trema sotto. Il rotolo di carta, invece, è solidale al terreno e durante un sisma va avanti e indietro rispetto alla punta scrivente.

Quando il terreno si muove, anche la carta si muove sotto il pennino e la traccia non è più una retta, ma una curva che si discosta dal centro. Un sismogramma ci dice sia quanto si è spostato il pennino dal centro della carta, sia quando tale spostamento si è verificato: la curva è, di fatto, il grafico spazio-tempo del moto del pennino e lo scorrimento della carta rappresenta il passare del tempo.



INGV

Un sismogramma rappresenta il grafico spazio-tempo dei movimenti della superficie terrestre durante un terremoto: l'asse del tempo coincide con la lunghezza della striscia di carta e l'asse dello spazio coincide con la sua altezza. Il tempo è riprodotto dallo scorrimento della carta; la punta scrivente si muove lungo un segmento perpendicolare alla sua direzione.



Se il pennino non si muove disegna una retta: è il grafico spazio-tempo di un corpo in quiete.

**DOMANDA** Che cosa disegna il pennino se la carta si blocca? Qual è la traiettoria del pennino?

## CON GLI OCCHI DI UN FISICO

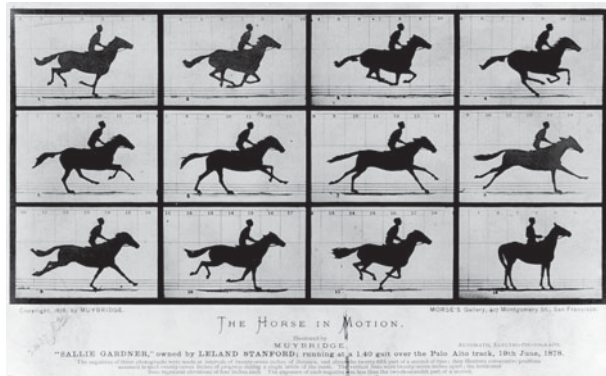
### Immagini e movimento

#### Fotografare il movimento

Esiste un istante in cui un cavallo in corsa tiene sollevate da terra tutte e quattro le zampe? Il fotografo inglese Eadweard Muybridge, nel 1878, ideò un marchingegno con il quale riuscì a rispondere a questa domanda. Egli tese lungo un tracciato 24 fili di lana equidistanti tra loro, collegati ad altrettante macchine fotografiche: gli zoccoli avrebbero dunque azionato ciascuna macchina esattamente al passaggio del cavallo al galoppo. Il risultato sconvolse il mondo dell'arte, in quanto rese evidenti gli errori che fino ad allora pittori e scultori avevano commesso nel rappresentare il movimento dei cavalli. Le fotografie di Muybridge mostravano, infatti, che l'istante in cui le zampe non toccano il terreno è quello in cui sono raccolte sotto il ventre del cavallo e non quello in cui sono estese, come si vede in moltissime rappresentazioni artistiche del galoppo.



Théodore Géricault, *Derby a Epson*, 1821.



*The Horse in motion* di Muybridge è il primo degli studi fotografici del movimento animale e umano.

#### Il fucile fotografico

Il passo successivo fu la ricerca di strategie per poter fare fotografie a intervalli di tempo ravvicinati con un unico apparecchio, e in questa direzione va collocata l'invenzione del fucile fotografico da parte del fisiologo francese Étienne-Jules Marey. Si trattava di un oggetto apparentemente uguale a un fucile da caccia, ma caricato con una pellicola fotografica e capace di scattare 12 fotografie in un secondo. Era il 1882 quando Marey catturò le sue prime immagini nel Golfo di Napoli, guadagnandosi l'appellativo di «matto» in quanto soddisfatto di «sparare» agli uccelli senza ucciderne nemmeno uno!



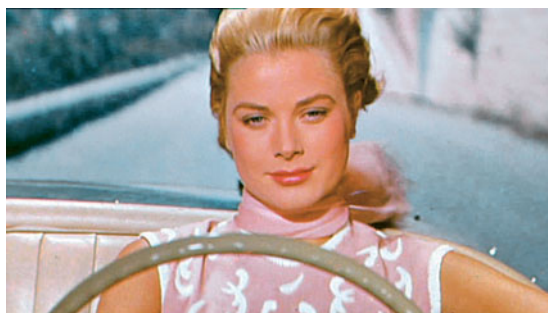
Il fucile fotografico inventato da É.-J. Marey.

David Momioux

#### PAROLA CHIAVE Sistema di riferimento

**DOMANDA** Un'automobile ferma in uno studio cinematografico sembra andare a spasso per la Costa Azzurra perché alle sue spalle c'è uno schermo su cui è proiettata una strada in movimento (da *Caccia al ladro* di Alfred Hitchcock).

► Rispetto a quale sistema di riferimento è in movimento l'automobile? Rispondi in 5 righe.



## La fotografia stroboscopica

La ricerca di tecniche per aumentare il numero degli scatti in un secondo e cogliere così i particolari dei moti più veloci arrivò fino agli anni Trenta, quando lo statunitense Harold Edgerton inventò la cosiddetta «fotografia stroboscopica». Questa superava il limite imposto dall'inevitabile lentezza delle macchine fotografiche attraverso l'uso di lampi di luce.

In un ambiente buio il soggetto è illuminato da lampi ad alta frequenza, tenendo aperto l'otturatore della macchina fotografica per tutta la durata del moto. In questo modo la pellicola si impressiona solamente negli intervalli di tempo in cui l'ambiente è illuminato e ne risulta un'immagine formata dalla sovrapposizione di situazioni successive. Se il soggetto è in movimento la sua figura appare in diversi punti dello spazio corrispondenti alle posizioni nei diversi istanti: la fotografia stroboscopica riesce dunque a fotografare l'evoluzione temporale di un fenomeno.



La lanterna magica proiettava su uno schermo immagini dipinte su lastre di vetro.

### PAROLA CHIAVE Spazio

**DOMANDA** Quale traiettoria descrive la mano destra della ballerina di Andrew Davidhazy? Disegnala in un sistema di riferimento bidimensionale.



Andrew Davidhazy

## Ricostruire il movimento

Parallelamente allo sviluppo delle tecniche fotografiche si presentò una nuova sfida tecnologica: se era possibile scomporre il movimento in immagini scattate a istanti ravvicinati, doveva pur essere possibile dare di nuovo movimento a quelle stesse immagini. In altre parole, dopo essere riusciti a fotografare il movimento si cercò il modo di restituirlo in quanto tale. Si trattava di «montare» gli scatti affinché l'occhio li ricomponesse come se l'immagine si stesse davvero muovendo. Esistevano da tempo dispositivi che venivano usati per realizzare dei primitivi «disegni animati», cioè per «muovere» figure disegnate, ma questa volta si trattava di usare vere e proprie fotografie della realtà. Stava dunque per nascere il cinema: il 28 dicembre 1895 i fratelli Lumière proiettarono in un rinomato caffè di Parigi i primi dieci cortometraggi della storia.

Fenachistoscopio: guardando il disco in rotazione da una finestrella le immagini paiono muoversi.



Eastward Maybridge/Library of Congress

### PAROLA CHIAVE Tempo

**DOMANDA** Facendo scorrere velocemente tra le dita le pagine illustrate di un cineografo i disegni sembrano muoversi. Le immagini corrispondono a immagini successive di un moto bidimensionale e un oggetto disegnato sempre nella stessa posizione appare fermo.

► In quale direzione collocheresti un asse del tempo?



Massimiliano Trevisan