



Autori: Avena Matteo, Corte Riccardo.

SUL CONCETTO SCIENTIFICO DI TEMPO E SULLA SINCRONIZZAZIONE

IL TEMPO NELLA FISICA

Cos'è il **tempo**? Una domanda profonda che tutte le più grandi culture, prima o poi, si sono poste. Secondo Aristotele esso è la misura del movimento: un'idea molto intuitiva e legata alla nostra natura umana. Ciò che viviamo è un eterno presente, una successione di attimi di coscienza che conserviamo nella memoria, il nostro passato, e che attendiamo in ciò che chiamiamo futuro. È la suddivisione della nostra vita in passato-presente-futuro a comporre il cosiddetto **tempo psicologico**. Esso è *costitutivo*, essenziale per spiegare come interagiamo con la realtà. Lo stesso vale per il **tempo biologico**, che viene scandito dalla nostra interazione con l'ambiente esterno. Pensiamo come i nostri ritmi siano modellati su cicli, come l'alternarsi tra il giorno e la notte: lo stesso vale per le nostre cellule e per gli altri organismi viventi.

In **Fisica** la definizione di tempo è molto semplice: è ciò che si misura con un **orologio**, ossia un sistema che periodicamente presenta lo stesso comportamento (dalla posizione del raggio di luce nelle meridiane all'oscillazione quantistica di un orologio atomico). Ciò non vuol dire che la natura del tempo ci sia completamente chiara, tuttavia abbiamo delle regole per misurarlo. Nel corso degli anni si è passati dal rappresentarlo come un parametro continuo che scorre in modo assoluto e determina la variazione di ogni altra grandezza fisica (*Meccanica classica*) a una componente non separabile dallo spazio (*Relatività Generale*). Con la *Relatività Generale* il tempo ha perso la sua assoluta unicità: è un fatto sperimentale che confrontando due orologi sotto diverse condizioni (gravità e moto relativo) "battono" il tempo diversamente.

Per spiegare perché il tempo abbia un'unica **direzione** (dal passato al futuro), ossia perché i processi avvengano naturalmente in un certo ordine, è necessario analizzare la realtà a livello microscopico (atomico e subatomico). In questo strano mondo il concetto di tempo sembra quasi sparire, nel senso che ha un ruolo *regolativo* dei processi ma non è essenziale per la loro comprensione. Dalle sue ceneri nascono i concetti fondamentali di **probabilità** e **ordine**: è da essi che emerge la "freccia del tempo". In *Termodinamica* un sistema di particelle evolve in una certa maniera, in una certa direzione, proprio perché è più probabile che accada (per questo un gas tende nel tempo a occupare tutto lo spazio disponibile). Addirittura, in *Meccanica Quantistica* possiamo predire il comportamento di un sistema solo con una certa probabilità, intrinseca al sistema stesso, e l'ordine con cui misuriamo le grandezze fisiche coinvolte causa esiti differenti.

Un osservatore determina a priori la probabilità di un evento in base alla conoscenza che ha su di esso (a seconda che pensiamo che un dado sia truccato o meno associamo una probabilità diversa che esca un determinato numero). Inoltre, il modo in cui descrive fisicamente il nostro universo, le **variabili** che usa e come lo divide in **sottoinsiemi**, è arbitrario (può considerare, ad esempio, sottoinsiemi a diversi ordini di grandezza: galassie, sassi, molecole). Questa (solo apparente!) soggettività potrebbe suggerire che l'ordine dei processi sia "prospettico", ossia dipenda dalla scelta che l'osservatore ha fatto per descriverlo. Ma il tempo scorre sempre in un'unica direzione, assoluta! Questo perché, per quel che ne sappiamo, è una caratteristica intrinseca dell'universo in cui viviamo, indipendentemente da come lo descriviamo: scelti un set di variabili e di sottoinsiemi è l'interazione tra essi e il resto dell'universo a determinare la "freccia del tempo", e non la scelta stessa.



DALLA RELATIVITA' AL TEMPO UNIVERSALE (E VICEVERSA)

Le prime considerazioni teoriche sulla **relatività del tempo** sono cominciate alla fine dell'800 quando la diffusione delle ferrovie ha dato inizio al processo di globalizzazione che ha definito la società contemporanea: un mondo globalizzato necessita di un'ora unica, e quindi di orologi sincronizzati. La *Relatività Ristretta* è figlia di tutto questo, basti pensare che il primo articolo a riguardo, di Einstein, risale al 1905. Essa predice che orologi in moto relativo misurano tempi diversi e che la simultaneità di due eventi non sia assoluta. Ciò deriva da soli due postulati: che le leggi della fisica valgano in tutti i sistemi di riferimento (inerziali) e che in essi la velocità della luce del vuoto sia sempre la stessa. Sebbene possa sembrare non intuitivo, le predizioni della Relatività Ristretta hanno avuto molte conferme sperimentali, tra cui l'*esperimento di Hafele e Keating*: due orologi inizialmente sincronizzati vengono posti uno in un punto fisso da qualche parte all'equatore mentre l'altro su un aereo che, raggiunta una certa quota, circumnaviga la Terra per poi tornare al punto di partenza. Al ritorno effettivamente gli orologi non sono più sincronizzati!

Oggi diamo per scontato il significato di termini come **simultaneità** tra eventi e **sincronizzazione** tra orologi, ma cosa intendiamo più precisamente? Per un osservatore due eventi sono simultanei quando avvengono nello stesso momento: ad esempio quando diciamo che la partita di calcio è iniziata alle 9:00 in realtà intendiamo che l'inizio della partita è simultaneo al posizionarsi della lancetta dell'orologio (se è analogico) esattamente sulla tacchetta delle 9. Supponiamo ora che un osservatore si trovi lontano dal campo. Per sapere quando inizia la partita qualcuno sul campo deve mandare un segnale per avvertirlo: secondo l'osservatore lontano la partita non inizia precisamente alle 9 perché il segnale ha bisogno di un certo tempo per arrivare (per la *Relatività* può viaggiare al massimo alla velocità della luce).

Per sincronizzare a distanza gli orologi dei due osservatori è necessario prendere uno dei due come riferimento e ritardare l'altro di un tempo pari al tempo di propagazione del segnale: in questo modo quando gli osservatori sapranno dell'inizio della partita i loro orologi segneranno la stessa ora. È con lo stesso concetto che dall'inizio del '900 si sincronizzavano, ad esempio, gli orologi delle stazioni ferroviarie: prima ogni stazione aveva un'ora diversa, che era quella locale! Il tempo di riferimento era stabilito dagli osservatori astronomici attraverso pendoli di precisione e gli orologi pubblici erano tarati in base ad essi, a seconda della distanza e dal tipo di segnale utilizzato per verificare la sincronizzazione. Il **tempo universale** veniva quindi *determinato, conservato* e infine *trasmesso*.

Il momento storico per questa "rivoluzione del tempo" non poteva essere più propizio dal punto di vista tecnologico: dalla fine dell'800 gli orologi pubblici, che erano esclusivamente meccanici, cominciarono ad essere sostituiti con orologi in parte elettrici, essenziali per poter usare appunto l'elettricità come segnale di trasmissione e sincronizzazione. Ironicamente è la concretezza di questa rivoluzione tecnologica ad aver dato una spinta ad Einstein nell'ideazione della teoria della *Relatività Ristretta*: in questo periodo Einstein lavorava all'ufficio dei brevetti di Berna, senza contare che lo zio era proprietario di un'impresa produttrice di contatori elettrici, la cui tecnologia era molto simile a quella utilizzata nella sincronizzazione elettrica.

Dal punto di vista culturale, il **tempo universale** è stato percepito come un'affermazione dell'uomo sulla natura e un segnale di modernità, tanto da divenire una vera e propria base per la società contemporanea, globalizzata. L'idea di un tempo assoluto e "democratico", un'ora esatta che scandisce la vita di milioni di persone, permette oggi ai media di parlare di "noi", "qui", "adesso" riferendosi anche ad eventi molto lontani da noi; si è insinuata così in profondità nel nostro senso comune da farci sembrare naturale quella che in realtà è solo una costruzione necessaria all'organizzazione globale dell'uomo.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



Dipartimento di

Fisica

Dipartimento d'Eccellenza 2023-2027

SITOGRAFIA

GALISON PETER, "Einstein's Clocks: The Place of Time" in *Critical Inquiry* 26, no. 2 (2000): 355–89,
<http://www.jstor.org/stable/1344127>

LONGO GIUSEPPE, "Confusing biological rhythms and physical clocks - Today's ecological relevance of Bergson-Einstein debate on time in *What is time?*", <https://www.di.ens.fr/users/longo/files/TwinsVSclocks.pdf>

ROVELLI CARLO, "Is Time's Arrow perspectival?", [arXiv:1505.01125v2](https://arxiv.org/abs/1505.01125v2) [physics.hist-ph]

GIULIANI GIUSEPPE, "Alcune note su tempo, orologi e relatività", https://fisica.unipv.it/percorsi/pdf/note_tempo.pdf

BALBI GABRIELE, RIKITANSKAIA MARIA, "What time is it? History and typology of time signals from the telegraph to the digital", <https://ijoc.org/index.php/ijoc/article/view/14132/3396>