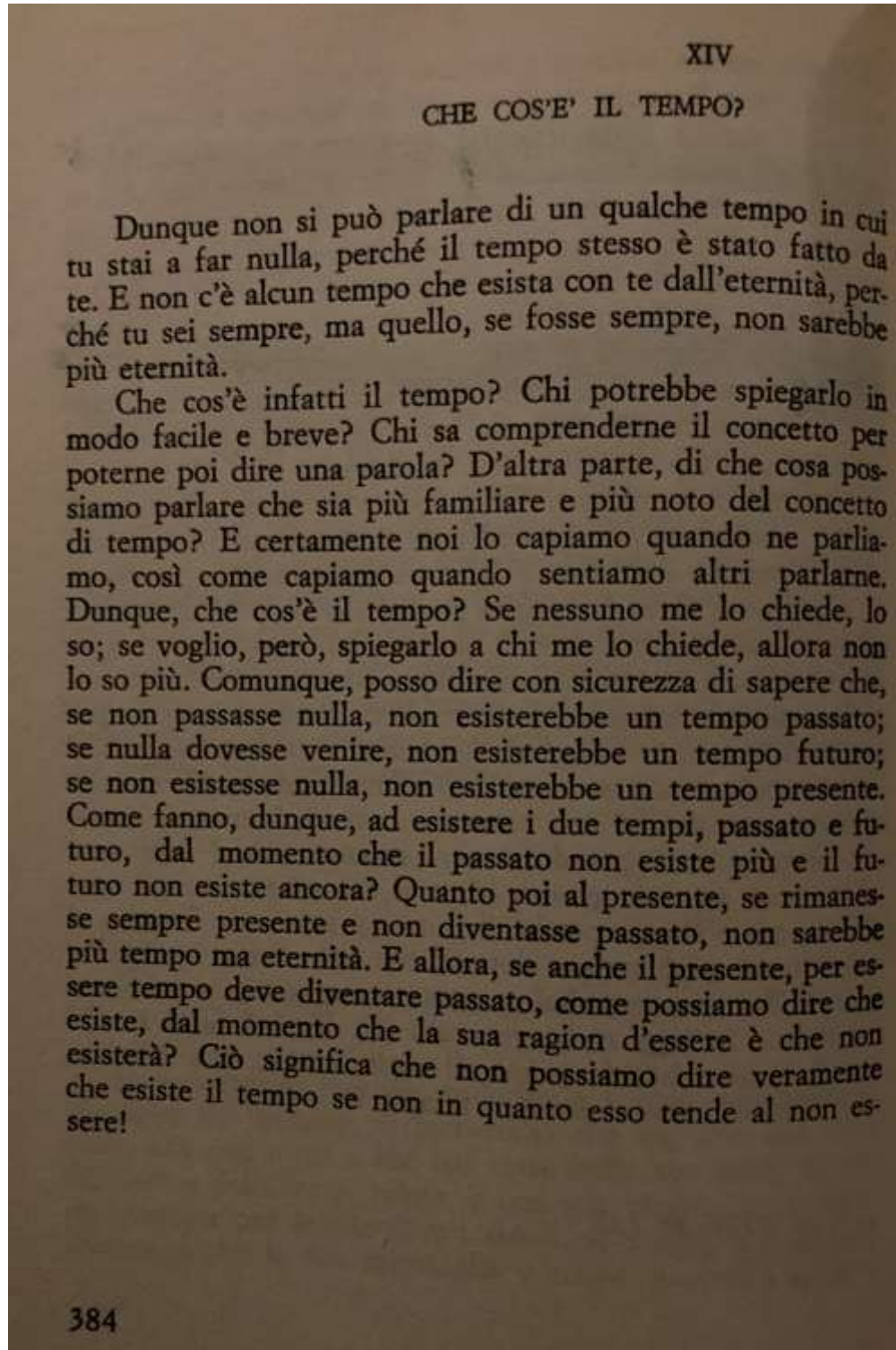


II TEMPO- LO SPAZIO- L'INFINITO

► Da “Le Confessioni”, scritte nel 397, da Sant’Agostino (in cui il Santo si racconta aprendo il suo cuore e svelando la sua interiorità), riporto la pag. 384:



a. Sant'Agostino (454-439), nell'undicesimo libro delle confessioni diceva (come si evince dalla pagina precedente): *“io so che cosa è il tempo, ma se me lo domandi non so rispondere.*

b. Isacco Newton (1642-1727), nei principi matematici scriveva:

- “il tempo assoluto (vero o matematico) è per sua essenza privo di connessione con nessuna cosa esteriore e avanza uniformemente;
- “il tempo relativo (apparente o volgare) si associa concretamente ad un moto prestabilito per la sua misura”.

c. Richard Feynman (1918-1988), premio Nobel per la fisica 1965, disse:

“il tempo è ciò che accade quando non accade nient'altro”.

d. Julian Barbour (1937- ...) scrive:

“il tempo non è altro che cambiamento ovvero ciò che percepiamo su quanto succede attorno a noi. Ma, se non vi fosse cambiamento ovvero se tutto rimanesse inalterato allora anche il tempo si fermerebbe: il tempo quindi non esiste come grandezza fisica”.

Barbour afferma che viviamo muovendoci in una successione di “adesso” ... e la domanda è “cosa sono queste identità?”

Esempio. Ogni numero intero esiste simultaneamente; la successione dei numeri naturali, la serie dei numeri primi, la serie dei numeri di Fibonacci, ...

- 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; ... se dico 5, non è detto che 2 sia morto e che 7 non esista ancora;
- 2; 3; 5; 7; 11; 13; 17; ... il numero 11 non era nel passato il numero 7 e non diventerà 13 nel futuro;
- 1; 1; 2; 3; 5; 8; 13; 21; ... analogamente 5 non è il passato di 8 e 8 non è il futuro di 5.

I numeri delle precedenti sequenze sono tutti degli “adesso”, niente di più e niente di meno.

► La letteratura sul tempo è vasta, quello che ho scritto è una sua esigua parte, ma è certo che non si può dare una definizione esaustiva di tempo; concretamente si può definire come una sequenza ordinata di eventi.

Nella nostra vita siamo interessati al tempo relativo (*tempo apparente* di Newton) per il quale è necessario essere forniti di un moto continuo come, ad esempio, il moto di un punto materiale che percorre una traiettoria infinita in un certo prestabilito verso.



In Fig.1 abbiamo la traiettoria Γ in cui si sono stabiliti un'origine O ed un verso di percorrenza indicato dalla freccia; i tre punti materiali P , Q , R che si muovono su di essa, con velocità non necessariamente uguali, in un determinato istante occupano la posizione espressa in figura. La loro istantanea posizione può essere definita dalla loro distanza curvilinea contata dall'origine O , positiva per i punti materiali P e Q , negativa per il punto R . Dalla maggiore o minore distanza

curvilinea (detta più propriamente *ascissa curvilinea*) di due eventi si può dedurre quale dei due precede o segue l'altro, e nel caso particolare in cui le ascisse di due eventi siano istantaneamente uguali si avrà la simultaneità dei due eventi.

Partendo dal seguente assioma (regola del gioco ovvero concetto base di una teoria che viene assunto come vero e su cui si basa tutta la teoria stessa):

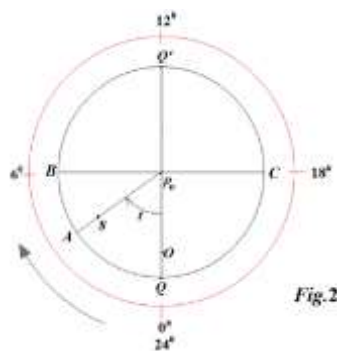
“due intervalli di tempo si definiscono uguali quando descrivono la durata di due fenomeni identici, che si svolgono in circostanze fedelmente analoghe”,

possiamo misurare il tempo mediante l'osservazione di un moto periodico che si riproduca con continuità e con le stesse modalità, a partire da un prestabilito istante preso come origine dei tempi (nascita di Cristo).

Sono proprio alcuni fenomeni astronomici che ci consentono facilmente l'opportunità di misurare il tempo come il moto apparente diurno delle stelle, il moto del Sole tra le stelle e così via.

La differenza tra questi moti ed il moto espresso nella Fig.1 è che non parliamo più di *ascissa curvilinea* bensì di *ascissa angolare* (analogamente come avviene nelle lancette dell'orologio che ruotano sempre in uno stesso senso senza mai fermarsi, moto infinito, spazzando angoli uguali in intervalli di tempi uguali).

Pertanto possiamo assumere l'angolo orario t di un astro qualunque per misurare il tempo, ed è perciò che l'angolo orario di un astro è detto anche *tempo dell'astro*; si deduce che si possono avere tanti tempi diversi l'uno dall'altro, tanti quanti sono gli astri visibili. Dalla definizione “si dice *giorno di un astro* l'intervallo di tempo che trascorre tra due passaggi successivi di quell'astro allo stesso meridiano”, in modo opportuno, l'uomo ha scelto il Sole come astro di riferimento. Per dare un'idea di cosa avviene ci serviamo di una proiezione della sfera celeste sull'equatore, con punto di vista all'infinito, al di sopra del polo nord celeste P_{Nc} ; come tutti sanno la sfera celeste è una sfera immaginaria sulla cui superficie si vedono apparentemente gli astri come se fossero tutti alla stessa distanza dalla Terra; in realtà è una illusione ottica e si attribuisce a questa superficie sferica un raggio arbitrario; proprio per questa ragione possiamo considerare questo raggio uguale al raggio del nostro pianeta; consegue che le due sfere sono coincidenti ... vediamo Fig.2



Di seguito associamo i simboli che appaiono in Fig.2 ai corrispondenti simboli sulla sfera celeste:

- $p_n \equiv P_{Nc}$ (polo nord celeste)
- $O \equiv Z$ (zenit dell'osservatore)
- $s \equiv S$ (Sole, essendo s il punto *subastrale* del Sole)
- $Q \equiv M_s$ (Mezzo cielo superiore, da cui si contano i tempi t dell'astro)
- $Q' \equiv M_i$ (Mezzo cielo inferiore)

La circonferenza di colore rosso può rappresentare l'orologio dell'osservatore O così:

Meridiano del punto subastrale	Ora segnata sull'orologio dell'osservatore
$p_n Q$	0^h
$p_n A$	4^h
$p_n B$	6^h
$p_n Q'$	12^h
$p_n C$	18^h
nuovamente in $p_n Q$	$24^h^{(*)}$

(*) sono le 24^h di quel giorno, coincidenti con le 0^h del giorno subito successivo.

Così abbiamo realizzato, automaticamente, il moto continuo illimitato, necessario per la collocazione nel tempo dei più vari avvenimenti, salvo sapere stabilire la simultaneità fra questi e i valori corrispondenti di t .

Spieghiamo con esempi.

- Alle 8 del mattino Tizio telefona da Tokio a Caio residente a Genova dove sono le 15 pomeridiane; la loro conversazione è istantanea ma non coincidono i loro corrispondenti orari ... i tempi t sono diversi eppure i due soggetti comunicano contemporaneamente. La simultaneità dell'evento è giustificata dal fatto che Tizio e Caio vivono sullo stesso pianeta ed i loro orologi sono regolati sullo stesso processo astronomico.
- Si supponga che un abitante della Terra voglia comunicare con un abitante del pianeta $\alpha Cen Bb$ che orbita attorno alla stella *Alfa Centauri B*. Qui le cose cambiano di netto perché questo sistema stellare dista 4,4 anni luce^(*) dal sistema solare. Ammettendo di inviare un radiomessaggio, questo giungerebbe sul pianeta $\alpha Cen Bb$ dopo 4,4 anni e si dovrebbero attendere altri 4,4 anni per ricevere la risposta.

Osservazione. Dalla Terra (oggi ottobre del 2023) vediamo *Alfa Centauri B*, ma non possiamo essere sicuri che questa stella esista ancora perché noi vediamo quello che era 4,4 anni fa. E se oggi dovesse collassare la vedremmo ancora fino ai primi mesi del 2027, dopo sparirebbe dai nostri occhi.

(*) L'anno luce è una unità di misura della lunghezza usata per misurare le distanze stellari, corrispondente a

$$9.461 \cdot 10^{15} m = 9461000000000000 m = 9461000000000 Km$$

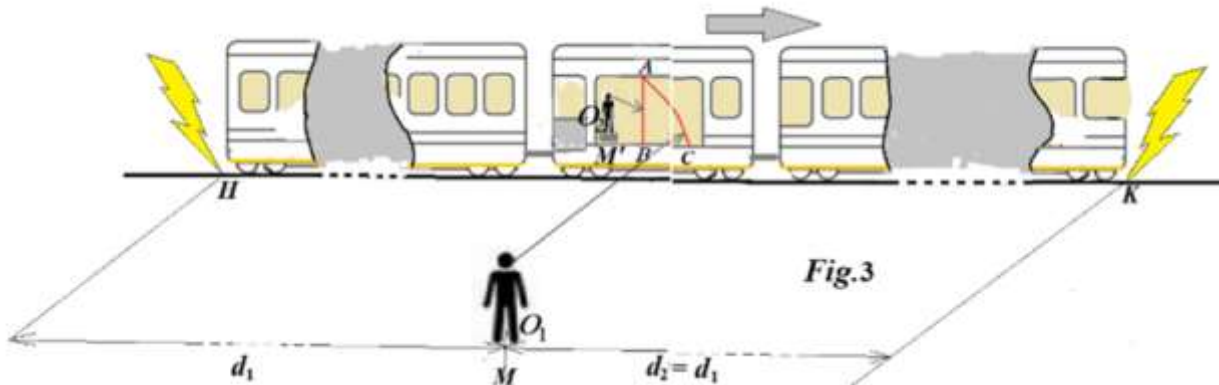
OSSERVAZIONE.

Nella vita di tutti i giorni si è convenuto di considerare, al posto del Sole Vero, un Sole immaginario detto "Sole medio" il cui giorno è la media aritmetica delle durate di tutti i giorni solari veri dell'anno. La durata di un giorno solare medio è un valore costante e vale esattamente 24 ore, corrispondente a "l'intervallo di tempo che intercorre tra due successivi passaggi del centro del Sole medio al meridiano superiore di un luogo" (vedi nella stessa pagina "La durata del Giorno Solare Vero")

► Considerazioni sul movimento

In Fig.3 si vede un insieme di vagoni di un treno che corre secondo la freccia; cade un oggetto dal tetto di un vagone e vi sono due osservatori O_1 e O_2 che assistono alla caduta di quell'oggetto che

termina il suo moto sul pavimento del vagone (colore giallo). Nel vagone centrale vi è un grande finestrone tale da poter far vedere all'osservatore O_1 il corpo nella sua libera caduta.



L'osservatore O_1 (fermo), non lontano dal binario, assiste al fenomeno rilevando la traiettoria curva AC , mentre l'osservatore O_2 sul treno rileva la traiettoria rettilinea AB .

Ma allora, la traiettoria risulta curvilinea o rettilinea? La risposta è: necessita specificare a quale dei due osservatori si fa riferimento.

I due osservatori, nello stesso intervallo di tempo, vedono traiettorie diverse: la più corta (quella rettilinea che è la distanza tra il punto da cui cade il corpo e il pavimento del vagone) e la più lunga (quella curvilinea la cui lunghezza dipende dalla velocità del treno).

Riportiamo (usando la stessa Fig.3) un esempio esposto da Einstein. All'improvviso cadono contemporaneamente due fulmini in testa e in coda del treno. L'osservatore O_1 , posizionato in quell'istante nel punto medio M di tutta la lunghezza HK del treno in corsa, vede i due lampi contemporaneamente perché le distanze d_1 e d_2 sono uguali e quindi le luci dei due lampi giungono contemporaneamente ai suoi occhi.

Cosa avviene per l'osservatore O_2 ? Esso è nel punto medio della lunghezza HK del treno che avanza con una certa velocità v , pertanto va incontro al raggio di luce del fulmine caduto in testa al treno e si allontana da quello che proviene dalla coda; quindi vede prima il fulmine caduto in testa e successivamente quello caduto in coda.

Così la simultaneità di eventi non è assoluta ma dipende dalla posizione dell'osservatore e dallo stato di moto del sistema di riferimento in cui si trova ... in questo caso la simultaneità è relativa.

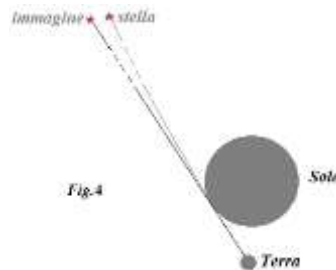
Inoltre le novità introdotte da Einstein consistono nei due seguenti postulati:

1. Le leggi della fisica sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento inerziali.
2. La velocità della luce è costante ed è indipendente dalla velocità della sorgente.

Così che se i due osservatori O_1 e O_2 (il primo fermo ed il secondo in movimento) avessero la possibilità di misurare la velocità della luce, determinerebbero entrambi lo stesso valore.

► Einstein ha dichiarato che la luce è una forma di energia e che quindi, come ogni oggetto materiale, viaggia su una curva nella circostanza di attraversare un campo gravitazionale prodotto

da un corpo dotato di massa. Così credette che la sua teoria avrebbe potuta essere verificata osservando il percorso della luce, proveniente da una stella, passante nel campo gravitazionale del Sole. Ma la verifica non è sempre possibile perché durante il *di* non si vedono stelle; l'unica possibilità di verifica si ha quando si vede contemporaneamente il disco solare e le stelle: questa situazione si verifica durante una eclisse totale di Sole (Fig.4).



Fu l'inglese Arthur Stanley Eddington (1883-1944), uno dei più importanti astrofisici del XX secolo, a verificare la congettura di Einstein. Egli si recò sull'isola di Principe situata al largo della costa occidentale africana dove durante l'eclisse totale di Sole del 29 maggio 1919 scattò alcune fotografie. Dagli sviluppi delle foto si valutò che la deviazione della luce proveniente dalle stelle più vicine al Sole deviava mediamente di $1.64''$, non lontano dal valore $1.75''$ calcolato, a tavolino, dallo stesso Einstein. (vedi nella stessa pagina "Eclisse del Sole del 1919").

NOTA. Da quanto sopra si perviene all'importante risultato: gli eventi che sono simultanei per un osservatore non sono tali per un altro osservatore, chiamiamola "*relatività della simultaneità*". Ogni oggetto ha il suo tempo particolare rispetto al sistema di coordinate di riferimento, pertanto una assegnazione di tempo ha valore solo quando viene stabilito a quale riferimento tale assegnazione si riferisce.

Così che, secondo Einstein **lo spazio e il tempo sono relativi e sono dipendenti l'uno con l'altro** (*relatività dello spazio-tempo*).