

**SEMINARIO NAZIONALE DI FISICA TEORICA**  
**Centro S.Elisabetta - Parma: 1-12 settembre 1997**

---

**MASSIMO PAURI**

**<< FILOSOFIA DELLO SPAZIO-TEMPO >>**

**[TAVOLE.WPT]**

**Dipartimento di Fisica - Sezione Teorica**  
**Università di Parma**

-----

settembre 1997[T-1]

**CONCEZIONI DELLO SPAZIO E DEL TEMPO  
(SPAZIO-TEMPO)**

[UNO SGUARDO DA LONTANO]

**A) CONCEZIONE ASSOLUTISTICA:**

Lo spazio e il tempo sono *entità* esistenti *in sè*, dotate di una loro intrinseca struttura, contenenti (e *indipendenti da*) gli oggetti e i processi *materiali*

**B) CONCEZIONE RELAZIONALE:**

Lo spazio e il tempo sono *entità ideali* o concettuali astratte, che rappresentano soltanto l'insieme ipostatizzato delle *relazioni fra* (e quindi *dipendenti da*) gli oggetti e i processi *materiali*.

*Nelle parole di Albert Einstein:*

<< Two concepts of space may be contrasted as follows: (a) space as position quality of the world of material objects; (b) space as container of all material objects. In case (a), space without a material object is inconceivable. In case (b), a material object can only be conceived as existing in space: space then appears as a reality which in a certain sense is superior to the material world >>

*Da A.Einstein: "Foreword" to Max Jammer's "Concepts of Space", Harvard University Press, Cambridge, 1954*

[T-2]

## PREMESSA TERMINOLOGICA

- "ontologia", "ontologico": detto con riferimento all'"essere in sè" delle cose, di una struttura, ecc.. [es. fisico: le probabilità quantistiche sono "p.ontologiche"]
- "epistemologia", "epistemico": detto con riferimento alle modalità di "accesso" o "conoscenza" delle cose, struttura, ecc... [es. fisico: le probabilità della termodinamica statistica classica sono "p.epistemiche"]

## UNA CONVENIENTE PERIODIZZAZIONE

### 1<sup>a</sup> Fase: periodo classico e medievale.

Genesi delle idee fondamentali di spazio e tempo in relazione al concetto classico di sostanza [la matematizzazione originaria delle "qualità primarie" (estensione, forma, grandezza, localizzazione): la geometria sintetica classica come *scienza dello spazio*.]

### 2<sup>a</sup> Fase: periodo moderno (da Galilei a Kant)

[Il passaggio dalla ontologia della sostanza al paradigma della funzione. La fondazione del concetto di *oggetto scientifico* e la matematizzazione delle "qualità secondarie" (cioè qualità sensibili percepite o *qualia*) sulla base del "metodo"

### 3<sup>a</sup> Fase: periodo contemporaneo

(inizia con scoperta delle geometrie non-euclidee, i lavori di Riemann e la formulazione dell'elettromagnetismo). [la definirei come una *nuova*

*matematizzazione* delle "qualità primarie": spazio e tempo divengono essi stessi  
specifici *oggetti scientifici*]

[T-3]

## GLI ARCHETIPI CLASSICI DELLO SPAZIO (A)

PREMESSA:

LIVELLO DEL SENSO COMUNE: A DIFFERENZA DELLE "COSE", SPAZIO E TEMPO NON SONO "PERCEPIBILI". SUSSISTE UNA INTRINSECA CORRELAZIONE ONTOLOGICA FRA CONCEZIONI DELLO SPAZIO E TEMPO E NOZIONE DI "COSA" E "PROCESSO": IL PROBLEMA DELLA INDIVIDUAZIONE E IDENTITÀ DELLE COSE [CIOÈ L'INDIVIDUAZIONE DI QUANTO "PERMANE" NEL "CAMBIAMENTO" DEGLI ENTI] STÀ ALLA BASE ANCHE DELLA CONCETTUALIZZAZIONE DELLO SPAZIO → CONNESSIONE STORICA CON LE NOZIONI DI MATERIA E VUOTO, FINITO E INFINITO, DISCRETO E CONTINUO, STATUS DELLA REALTÀ DEGLI ENTI MATEMATICI. IL PROBLEMA DELLA INDIVIDUAZIONE CONDUCE IL PENSIERO CLASSICO AL CONCETTO DI "SOSTANZA" → LA FONDAZIONE DEL CONCETTO DI "OGGETTO SCIENTIFICO" È ASSOCIATA STORICAMENTE AD UNO SVUOTAMENTO DELLA NOZIONE DI "SOSTANZA" VERSO QUELLA DI "FUNZIONE"

### 1) LA CONCEZIONE ARISTOTELICA

Poichè l'essere in potenza, rispetto all'essere in atto, è un relativo non-essere, il movimento e il divenire sono concepiti come passaggio dall'essere *in potenza* all'Essere *in atto*. Gli oggetti, dunque, non si muovono nel vuoto, la cui realtà (come pure quella degli atomi) viene negata per principio, bensì in un *dove* ovvero in un *luogo* (τόπος). Lo spazio di un sistema fisico non è identificato con la sua estensione nel senso comune del termine, ma è espresso piuttosto dal suo comportamento strutturale globale in quanto determinato dalla configurazione del contorno (il τόπος è il "confine interno del contenente"). Possiamo associare ad Aristotele l'ARCHETIPO QUALITATIVO-DESCRITTIVO: lo spazio non sussiste come sostanza ma non esiste nemmeno il vuoto: lo spazio è una proprietà

delle relazioni fra i volumi occupati dai corpi. L'archetipo aristotelico costituisce il germe del punto di vista relazionale sullo spazio.

[T-4]

## GLI ARCHETIPI CLASSICI DELLO SPAZIO (B)

### 2) IL MONISMO ELEATICO [Parmenide - Zenone]

L'Essere è UNO e la molteplicità è pura manifestazione apparente dell'Essere (poiché essa implicherebbe il non-essere). L'Essere è un "plenum" omogeneo, sicché, movimento, divenire, tempo ecc.. sono pura illusione. L'articolazione del pensiero eleatico, ben rappresentato dalle "aporie" di Zenone (in particolare, da quelle contro la pensabilità della molteplicità o della infinita divisibilità spaziale e della realtà del movimento), ha posto dei problemi fondamentali per la concettualizzazione dello spazio e del tempo, che troveranno una parziale soluzione soltanto in epoca contemporanea con la costituzione del continuo reale cantoriano e l'abbandono della concezione realistico-intuitiva del continuo geometrico. A tale concezione corrisponde, per lo spazio, l'ARCHETIPO GEOMETRICO-MONISTICO DELLA PURA ESTENSIONE: la sostanza, il "*plenum*" del reale, è propria dello spazio, mentre i corpi, nella loro individuazione separata, sono manifestazione dello spazio. Tale concezione - che chiameremo assolutistica-monistica - riaffiora a tratti nel corso dello sviluppo storico fino ai nostri giorni.

[T-5]

## GLI ARCHETIPI CLASSICI DELLO SPAZIO (C)

### 3) L'ATOMISMO DEMOCRITEO (Democrito, Leucippo, Epicuro):

L'essere è costituito da una molteplicità infinita di unità impenetrabili e indivisibili, prive di ogni qualità che non sia connessa alla pura estensione, e cioè dotate soltanto di forma, grandezza e localizzazione (ἄτομα). All'Essere dell'atomo ovvero della materia, si contrappone il non-essere come negazione dell'estensione, cioè il vuoto omogeneo. E' solo in virtù della correlazione reciproca fra i due termini di questo dualismo fondamentale che la realtà del movimento diviene intelligibile. Tutte le qualità sensibili (dunque i contenuti di ogni percezione) sono derivate e sono riconducibili alle disposizioni e ai movimenti degli atomi che si realizzano nel vuoto secondo una pura necessità meccanica ("caso"). Lo spazio vuoto degli atomisti appare concepito con la sola funzione "interstiziale" di permettere l'esistenza ed il movimento degli atomi; in particolare, tale spazio è necessariamente privo di ogni struttura atta a determinare la localizzazione degli atomi indipendentemente dalla loro posizione relativa e quindi non svolge ancora il ruolo di contenitore a-priori della materia. La concezione atomistica fornisce l'ARCHETIPO DUALISTICO DEL VUOTO. Sopra tale archetipo viene costruito il primo grande esemplare di quadro concettuale scientifico dell'Universo e delineata la prima giustificazione storica e razionale della molteplicità della percezione sensibile come realtà derivata o apparente rispetto alla sostanzialità

materiale degli atomi: ripreso insieme ad elementi di derivazione platonica nel sec.XVII, l'archetipo democriteo darà luogo alla concezione dualistica del meccanicismo galileiano e newtoniano: esso costituisce pertanto la base della concezione assolutistica-dualistica dello spazio.

[T-6]

## GLI ARCHETIPI CLASSICI DELLO SPAZIO (D)

### LE APORIE DELL'ATOMISMO

\* Le aporie della nozione di atomo spaziale: la nozione "classica" di atomo, associata alla immediata intuizione spaziale omogenea, contiene un'ineliminabile "aporia", chiaramente individuata da Zenone: il concetto stesso della indivisibilità comporterebbe infatti proprio la negazione degli attributi di *forma*, *grandezza* e *localizzazione*, poichè questi, congiunti alla omogeneità dell'estensione, implicano, a loro volta, la concepibilità di parti, la cui realtà di parti esige distinzione, e così via all'infinito. In altre parole, ogni autentica nozione di "atomo", cioè tale da contenere in forma non contraddittoria la condizione di irriducibilità, è inintelligibile in termini di intuizione omogenea, spaziale o temporale che sia. La consapevolezza di tale aporia è presente, più o meno lucidamente, lungo tutta la linea delle concezioni atomistiche dello stesso spazio e tempo [da Platone stesso a Epicuro, alla cultura islamica (Kalhām, Mutakallimûn), e a P.Gassendi (inizio del sec.XVII), alla originale concezione espressa da R.Boscovich all'inizio del sec.XVIII]. Una riproposizione dell'aporia è chiaramente espressa da Descartes [VEDI T-9] ed è poi contenuta nell'"antitesi" della antinomia kantiana della divisibilità [VEDI T-9'

e T-9"]. Anche il superamento delle aporie dell'atomismo avverrà (seppure ancora parzialmente) soltanto nel corso del sec.XX, nell'ambito della teoria quantistica con la scoperta dell'atomizzazione dei processi.

[T-7]

## CONCEZIONI DELLO SPAZIO E DEL TEMPO

[UNO SGUARDO DA MEDIA DISTANZA]

### 1) ASSOLUTISTICA DUALISTICA:

Lo spazio e il tempo sono *entità* esistenti *in sè*, dotate di una loro intrinseca struttura, *contenenti* (e *indipendenti da*) gli oggetti e i processi *materiali*

A)

### A2) ASSOLUTISTICA MONISTICA:

Lo spazio esaurisce totalmente la "sostanza" del mondo materiale. Gli oggetti e i processi non sono che *manifestazioni* o *apparenze* dello spazio.

### B) CONCEZIONE RELAZIONALE:



Lo spazio e il tempo sono *entità ideali* o concettuali astratte, che rappresentano soltanto l'insieme ipostatizzato delle *relazioni fra* (e quindi *dipendenti da*) gli oggetti e i processi *materiali*.

[T-8]

Giordano Bruno [1548 -1600]

<< Lo spazio è una quantità naturale tri-dimensionale continua, in cui è contenuta la grandezza naturale dei corpi. Esso è precedente per natura a tutti i corpi e sussiste senza di essi ma indifferentemente li riceve tutti, ed è libera dalle condizioni di azione e passione, assoluta, impenetrabile, priva di forma, non localizzabile, esterna a tutti i corpi e tuttavia tale da avvolgerli e illimitatamente contenerli tutti >>

[*De Immenso et Innumerabilibus, l.8; Op.Lat. Vol.I,1, p.231*]

NOTA:

Il problema dello spazio è stato costantemente un motore dello sviluppo della conoscenza: in particolare, non potendo essere né

sostanza né attributo, esso forza il superamento dell'ontologia aristotelica. Ogni trasformazione della nozione di spazio è stata sempre correlata ad una trasformazione della nozione di "oggetto"

[tranne l'ultima !]

[T-9]

René Descartes [1596 - 1550]

\* La fondazione della geometria analitica con il "principio di traduzione" :

⇒ unificazione della matematica classica

⇒ preparazione storica della concezione dello spazio come *point-set*

\* Fondazione del concetto di *grandezza* e di *dimensione fisica*

\* L'estensione come sostanza universale (meccanicismo monistico integrale): in contrapposizione alla concezione dualistica, il problema principale della concezione assolutistica monistica non è tanto la individuazione dei punti dello spazio quanto la distinzione-definizione dei corpi e del moto

**SULL'APORIA DELL'ATOMISMO SPAZIALE:**

<< D'autant que si petites qu'on suppose ces parties, néanmoins

**pource qu'il faut qu'elles soient étendueses, nous concevons qu'il n'y en a pas une entre elles qui ne puisse être encore divisée en deux ou en un plus grand nombre d'autres plus petites...>>**

*"Qu'il ne peut y avoir aucuns atomes, ou petits corps indivisibles", Dal Commentaire à la 20ème thèse de la seconde partie des Principes de la Philosophie. Ecrits en Latin, par René Descartes. Et traduit en François par un de ses amis. Nouvelle Edition, revue & corrigée. A Paris. Chez Denis Mouchet MDCCXXIV. Avec Privilège du Roi, 1724.*

[T-9']

**Immanuel Kant [1724 - 1804]**

*Dalla "Critica della Ragione Pura", vol. II, trad. italiana di G. Gentile e L.Lombardo Radice, Laterza 1949)*

**ANTINOMIA DELLA DIVISIBILITA` [1]**

**TESI:**

**<< Ogni sostanza composta nel mondo consta di parti semplici, e non esiste in nessun luogo se non il semplice, o ciò che ne è composto >>**

**DIMOSTRAZIONE:**

**Infatti, se si ammettesse che le sostanze composte non constano di parti semplici, sopprimendo nel pensiero ogni composizione [cioè sopprimendo l'idea del "limite" della composizione], non resterebbe nessuna parte componente [cioè semplice], quindi assolutamente niente, e per conseguenza nessuna sostanza sarebbe stata**

data. Dunque, o si ritiene impossibile sopprimere nel pensiero ogni composizione [cioè è illegittimo concepire il limite della serie], ovvero, dopo la soppressione di essa, deve restare qualcosa di sussistente senza nessuna composizione, cioè il semplice. Ma, nel primo caso, il composto consterebbe di sostanze (perché, in sé, la composizione non sarebbe se non una relazione accidentale delle sostanze, senza la quale esse devono sussistere come enti per sé stanti). Ora, poiché questo caso contraddice l'ipotesi, non resta che il secondo: che cioè il composto sostanziale nel mondo risulta di parti semplici. Quindi segue immediatamente che nel mondo le cose sono tutte semplici, che la composizione è solamente uno stato estrinseco di esse, e che, quantunque noi non possiamo mai sottrarre le sostanze elementari a tale stato di unione, pure la ragione deve concepirle come i soggetti primi di ogni composizione, e quindi, anteriormente ad essa, come enti semplici.

[T-9"]

Immanuel Kant [1724 - 1804]

*Dalla "Critica della Ragione Pura", vol. II, trad. italiana di G. Gentile e  
L.Lombardo Radice, Laterza 1949)*

ANTINOMIA DELLA DIVISIBILITA` [2]

ANTITESI:

<< Nessuna cosa composta nel mondo consta di parti semplici; e  
in esso non esiste, in nessun luogo, niente di semplice >>

DIMOSTRAZIONE:

Poniamo che una cosa composta (come sostanza) consti di parti semplici. Poiché *ogni rapporto esterno*, quindi anche ogni *composizione* di sostanze, *non è possibile se non nello spazio*, il composto deve constare di tante parti, e di altrettante parti deve constare anche lo spazio, che esso occupa. Ma lo spazio non consta di parti semplici, bensí di spazi. Dunque, ogni parte del composto deve occupare uno spazio. Ma le parti "assolutamente prime" di ogni composto dovrebbero essere semplici. Dunque il semplice deve occupare uno spazio. Ora, poiché ogni reale che occupa uno spazio, contiene in sè una molteplicità di elementi che si trovano l'uno fuori dell'altro e quindi è composto, e composto, in quanto reale composto, non di attributi (chè questi non possono senza sostanza esser l'uno fuori dell'altro) anzi di sostanze: il semplice sarebbe un composto sostanziale; ciò che si contraddice.

[T-10]

Isaac Newton [1642 - 1727]

*Dallo "Scholium", Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, London, 1686*

1 - "Il *tempo assoluto*, vero e matematico, in sè e per sua natura, fluisce uniformemente senza relazione a qualcosa di esterno, e con altro nome si chiama *durata*; il *tempo relativo*, apparente e comune, è la misura sensibile ed esterna (sia accurata, sia non uniforme) della durata attraverso il mezzo del movimento, ed esso è comunemente usato al posto del tempo vero; esso è l'ora, il giorno, il mese, l'anno";

2 - "Lo *spazio assoluto*, per sua natura privo di relazione a qualcosa di esterno, rimane sempre omogeneo ed immobile; lo *spazio relativo* è una dimensione o misura mobile dello spazio assoluto, che si rivela ai nostri sensi mediante la sua *relazione* con i *corpi*, ed è comunemente confuso con lo spazio immobile";

3 - "Il *moto assoluto*...è la traslazione di un corpo da un luogo assoluto ad un altro luogo assoluto; *moto relativo* è la traslazione di un corpo da un luogo relativo ad un altro relativo".

[T-11]

## ELEMENTI ESSENZIALI (A)

1) I concetti newtoniani di spazio e tempo assoluti presuppongono una concezione ontologicamente realistica delle strutture matematiche, in stretta connessione con il fatto che l'*identità* dei punti dello spazio fisico che contiene i corpi e analogamente degli istanti di tempo fisico che è il ricettacolo degli avvenimenti, è *autonoma* e non *derivata* dagli oggetti e dagli eventi. Ciò che Newton implicitamente esclude è una *concezione relazionale* la quale richiede invece che siano gli oggetti fisici, gli eventi e i processi a *definire* fisicamente (cioè *individuare*) - conferendo ad essi la *propria identità* - i punti dello

spazio e gli istanti di tempo.

2) Spazio e tempo possiedono una *metrica intrinseca*, che esiste indipendentemente dall'esistenza e dall'uso di regoli di misura materiali ed orologi, i quali hanno perciò al più la funzione meramente *epistemica* di informarci circa le relazioni cronometriche *intrinseche* dello spazio e tempo contenitori cui essi appartengono contingentemente, ma non *costitutiva* della metrizzazione. Ciò che viene qui implicitamente esclusa è una *concezione relazionale* della metrizzazione secondo cui, anziché possedere una metrica intrinseca, lo spazio e il tempo fisici sono *metricamente amorfi* e sono tributari dei corpi e dei processi materiali che soli possono definire (costituire) le rispettive metriche.

[T-12]

### ELEMENTI ESSENZIALI (B)

3) Lo spazio è infinitamente "penetrabile" (vuoto) ma anche "rigido" nel senso che le distanze fra le *posizioni non occupate* sono invariabili e determinano il riferimento per le *connessioni causali* fra i corpi.

4) Lo spazio assoluto agisce nella dinamica newtoniana come una vera e propria *causa* che influenza il moto dei corpi senza esserne influenzato e quindi è ben più che un'entità puramente geometrica.

5) La differenza fondamentale (e la decisiva superiorità) del meccanicismo newtoniano rispetto a quello di Descartes, consiste nel *non* ridurre la descrizione della molteplicità empirica a pure disposizioni di spazio e di tempo ma di arrestarsi di fronte ad alcune entità quantificabili che vengono considerate irriducibili, cioè *extra-geometriche*: in particolare, la *massa* e la *forza* (fra cui, principalmente, l'azione gravitazionale a distanza).

[T-13]

## ELEMENTI ESSENZIALI (C)

6) La meccanica di Newton introduce un criterio contro il "principio di indiscernibilità" [VEDI T-19], che è basato sul *moto* anziché sulla



sola disposizione dei corpi nello spazio, e, soprattutto, sulla considerazione di *fattori dinamici*. Con la scoperta della relazione quantitativa fra le *forze* producenti il moto ed una grandezza cinematica come l'*accelerazione* (seconda legge), si acquisisce un metodo per utilizzare la forza come una misura della accelerazione e quindi dello stato di moto, superando in forma *empiricamente osservabile* le limitazioni implicite nella considerazione puramente cinematica (o "foronomica") del moto, propria della fisica cartesiana. Osservando il moto relativo o "apparente" di un corpo e misurando la forza effettiva, è possibile determinare lo stato di accelerazione *assoluta* del corpo e quindi la relazione cinematica rispetto allo *spazio assoluto* in funzione del *tempo assoluto*.

**TUTTAVIA**

[T-14]

**ELEMENTI ESSENZIALI (D)**

(7) Le classiche "dimostrazioni" di Newton (delle "piattaforme rotanti", del "secchio" e dei "due globi rotanti", sono basate sulla determinazione di forze d'inerzia associate a moti relativi rotatori. Per quanto riguarda i moti relativi rettilinei e uniformi, ritenendo (erroneamente) provata l'esistenza dello spazio assoluto mediante l'analisi dinamica dei moti rotatori, Newton può soltanto concludere che, essendo questi differenze di moti rettilinei assoluti, almeno uno dei corpi in moto relativo deve essere in moto assoluto; ma non dispone di un metodo dinamico per determinare la *quiete assoluta*, ed è costretto ad introdurre un criterio *ad hoc* di natura cosmologica mediante l'affermazione che il centro del "Sistema del Mondo", identificato con il centro di massa del sistema solare, è in quiete rispetto allo spazio assoluto.

[T-15]

**ELEMENTI ESSENZIALI (E)**

8) Lo spazio e il tempo sono *omogenei* e lo spazio è *isotropo* cioè, in termini odierni, la loro struttura è invariante rispetto ad un gruppo di trasformazioni (gruppo di *simmetria*) che è, rispettivamente, il gruppo delle rototraslazioni tridimensionali (gruppo Euclideo E(3)) e il gruppo delle traslazioni monodimensionali (temporali). Da un punto di vista strettamente newtoniano, la cosiddetta *relatività galileiana*, cioè la ulteriore invarianza delle leggi della meccanica rispetto alle *trasformazioni di velocità* (ovvero le trasformazioni di coordinate che rappresentano il passaggio da un dato sistema di riferimento ad un altro in moto rettilineo ed uniforme rispetto al primo), invarianza che esprime in termini odierni la *equivalenza* dei sistemi inerziali, deve essere interpretata come un fatto puramente *accidentale*, riconducibile ad una contingente ignoranza dei metodi con i quali individuare un sistema di riferimento assoluto, e tale venne in effetti considerata dagli immediati successori di Newton. In altre parole, lo spazio assoluto newtoniano non rende conto in modo soddisfacente della *struttura inerziale* della materia.

[T-16]

Isaac Newton [1642 - 1727]

SCRITTI POSTUMI

<< Ci si potrebbe aspettare che io debba definire l'estensione come sostanza o

come accidente o, altrimenti, come qualcosa che non esiste. Ma non è affatto così, dal momento che essa ha un modo d'esistere suo proprio ... Non è una sostanza, poiché essa non sussiste assolutamente di per sé, ma come un effetto emanativo di Dio e affezione di tutto l'essere; e neanche essa è sottintesa a tali affezioni sue proprie che indicherebbero una sostanza, cioè le azioni ... Per di più, poiché possiamo concepire chiaramente l'esistenza dell'estensione senza alcun soggetto, come quando possiamo immaginare soggetti esterni al mondo o soggetti vuoti d'ogni corpo, e crediamo che essi esistano sebbene immaginiamo che non vi siano corpi, né possiamo credere che, se Dio volesse distruggere un corpo, l'estensione debba perire con esso, ne segue che l'estensione non esiste alla maniera di un accidente inerente in qualche soggetto ... Proprio come le parti della durata sono individuate dal loro ordine, di modo che (per esempio) se l'ieri potesse cambiare di posto con l'oggi e divenire il posteriore tra i due, esso perderebbe la sua individualità e non sarebbe più l'ieri, ma l'oggi; così le parti dello spazio sono individuate dalle loro posizioni, di modo che se due qualsiasi di esse potessero scambiarsi di posizione, esse si scambierebbero anche di identità, e sarebbero convertite l'una nell'altra come individui. E` soltanto attraverso il loro reciproco ordine e le loro reciproche posizioni ["propter solum ordinem et positiones inter se"] che le parti della durata e dello spazio vengono intese proprio come quelle che sono davvero; ed esse non hanno altro principio di individuazione all'infuori di quest'ordine e di questa posizione >>

---

*"De Gravitatione et equipondio fluidorum"* , posthumously published in  
*Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*, Cambridge 1962.

[T-17]

**LA CONCEZIONA RELAZIONALE FENOMENISTICA**

**George Berkeley [1685 - 1753]**

"De Motu, sive de motus principio atque natura, et de causa communicationis motuum", London 1721.

---

Ernst Mach [1838 - 1916]"Die Mechanik in Ihrer Entwicklung Historisch-Kritisch Dargestellt",  
Leipzig 1912.

Entrambi criticano Newton da un punto di vista fenomenistico e quindi basandosi su un principio di osservabilità diretta. Poiché lo spazio non è percepibile e non possiede realtà in sé, deve essere ridotto a relazioni di distanza fra le percezioni relativamente stabilizzate che chiamiamo corpi ed è impossibile che esso determini l'inerzia (sia traslazionale che rotazionale) dei corpi stessi

**TUTTAVIA**

Berkeley critica le dimostrazioni newtoniane sulla forza centrifuga [esperimenti concettuali del secchio e dei due globi] ed argomenta a favore della nozione puramente relativa del moto fra corpi o fra corpi ed il cielo delle "stelle fisse". Ma si limita ad una analisi meramente cinematica del moto relativo e non è quindi in grado di proporre un'alternativa scientifica alla meccanica di Newton

**MENTRE**

[T-18]

## IL "PRINCIPIO" DI MACH

**Mach affronta invece anche il problema dinamico del moto delineando - ma solo in forma qualitativa - una concezione relazionale della dinamica e, conseguentemente, eliminando il fondamento dell'argomento newtoniano della rotazione assoluta, anche una possibile concezione relazionale dello spazio. La concezione relazionale della dinamica è basata sull'idea che l'inerzia sia un effetto dinamico simil-gravitazionale di tutte le masse dell'Universo che determinano gli standard locali di non accelerazione e di non-rotazione (sistemi inerziali) nonché le masse inerziali stesse. La concezione machiana - anche se in forma qualitativa - implica conseguenze empiricamente accertabili [lento trascinamento del pendolo di Foucault per la rotazione terrestre, esistenza di forze centrifughe e di Coriolis all'interno di una sfera cava massiva in rotazione, variazioni di inerzia dei corpi in vicinanze di grandi masse accelerate, interazioni fra inerzia ed elettromagnetismo], ma rimane confinata interamente entro la cinematica classica, il paradigma dell'azione a distanza e, soprattutto, presuppone implicitamente una sorta di riferimento euclideo rigido universale in cui le relazioni fra i corpi siano intrinsecamente determinabili (idea tutt'altro che fenomenistica !)**

**Gottfried W. Leibniz [1646 - 1716]**

**"Principio della Identità degli Indiscernibili":**

**<< non esistono sostanze indiscernibili>>**

**<< Il principio di individuazione si riduce, negli individui, al principio di distinzione. Se due individui fossero del tutto simili e uguali e, in una parola, indistinguibili di per se stessi [INCLUDENDO LE PROPRIETA` SPAZIALI], non si avrebbe principio di individuazione, ed oso dire che non vi sarebbe, posta quella condizione, alcuna distinzione individuale e differenza di individui>>**

-----

**<< Extension and space ... are nothing but relations of order or of orders of coexistence, both as regards to that which actually exist and as regards possible things that might be put in place of that which exist >>**

*Dalla seconda lettera a Foucher, 1675, in L.E.Loemker, ed., Gottfried Wilhelm Leibniz: Philosophical Papers and Letters, Reidel 1969, p. 153.*

[T-20]

Gottfried W. Leibniz [1646 - 1716]

<< I have many demonstrations to confute the fancy of those who take space to be a substance, or at least an absolute being.... I say that if space was an absolute being, there would be something happen for which it would be impossible there should be sufficient reason ["Principio di Ragione Sufficiente"].... Space is something absolutely uniform; and without the things placed in it, one point of space does not absolutely differ in any respect whatsoever from another point of space. Now from hence it follows (supposing space to be something in itself, besides the order of bodies among themselves) that it is impossible there should be sufficient reason, why God, preserving the same situation of bodies among themselves, should have placed them in space after one certain particular manner, and not otherwise ... But ... if space is nothing at all without bodies, but the possibility of placing them, then those two states, the one such as now is, the other supposed to be the quite contrary way, would not differ from one another. Their difference therefore is only to be found in our chimerical supposition of the reality of space in itself. But in truth the one would exactly be the same thing as the other, they being absolutely indiscernible .... Space denotes, in terms of possibility, an order of things which exist at the same time ... Space is the order of possible coexistents >>

---



*Dalla terza lettera a Clarke, 25 febbraio 1716, in L.E.Loemker, ed., Gottfried Wilhelm Leibniz: Philosophical Papers and Letters, Reidel 1969, p.682.*

[T-21]

**Gottfried W. Leibniz [1646 - 1716]**

**<< A causa dell'interconnessione delle cose, non vi sono denominazioni puramente estrinseche, e non è possibile che due cose differiscano l'una dall'altra solamente rispetto allo spazio e al tempo, per la quale condizione è necessario che vi sia qualche altra interna differenza ... Pertanto, se lo spazio, di per sé, non giustifica la differenza, ne segue che non può esservi differenza che sia meramente locale ... Astrattamente, sembra che l'essere in un luogo dello spazio implichi null'altro che la posizione ma, in realtà, ciò che ha un luogo deve esprimere il luogo in sé stesso, cosicché la distanza e il grado della distanza implicano altresí un grado secondo cui nella cosa stessa si esprime una cosa remota ... Lo spazio fisico (che include già il tempo) è pertanto niente altro che la dipendenza dei fenomeni l'uno dall'altro, sicché una teoria fisica completa che rendesse conto di tale dipendenza non avrebbe alcun bisogno di concetti separati di spazio e di tempo perché questi vi sarebbero già inclusi.>> ... << Non sussiste alcuna distanza spaziale fra le *monadi* >> [Le *monadi* sono sostanze semplici che non sono PARTI SPAZIALI - VEDI INVECE KANT in T-9', T-9"]**

---

*Principes de la Nature et de la Grâce fondés en raison, Principes de la Philosophie, ou Monadologie, edizione critica a cura di A.Robinet, Gallimard, Paris 1957*

[T-22]

## **OSSERVAZIONI SU LEIBNIZ E IL RAPPORTO CON NEWTON (A)**

**1) PER LEIBNIZ LO SPAZIO NON PUO` ESSERE UNA SOSTANZA, NE' PUO` ESSERE UN ATTRIBUTO O UNA COLLEZIONE DI ATTRIBUTI INERENTI ALLE COSE, POICHE` ESSO NON RIGUARDA SOLO LE COSE ATTUALI MA ANCHE QUELLE POSSIBILI. NON ESSENDO NE', SOSTANZA NE' ATTRIBUTO, LO SPAZIO E`"IDEALE"**

**2) IL PRINCIPIO DI INDISCERNIBILITA` E` UN PRINCIPIO LOGICO UNIVERSALE CHE NON HA NULLA A CHE VEDERE CON QUESTIONI DI OSSERVABILITA` E VERIFICABILITA` NEL SENSO**

**CONTEMPORANEO DEI TERMINI. ESSO E` DUNQUE UN ANTECEDENTE DEL PENSIERO RELATIVISTICO MA NON DEL PENSIERO POSITIVISTICO-EMPIRISTICO.**

**[T-23]**

### **OSSERVAZIONI SU LEIBNIZ E IL RAPPORTO CON NEWTON (B)**

**3) Nello schema newtoniano sono conglobati ed intrecciati i TRE SEGUENTI SIGNIFICATI del termine ASSOLUTO, che devono essere tenuti logicamente distinti in vista della discussione successiva:**

**a) un significato ontologico, connesso alla intrinsecità ed autonomia della struttura dello spazio e del tempo e delle metriche spaziale e temporale**

**b) un significato connesso alla uniformità dello spazio e del tempo e quindi alla invarianza della loro struttura rispetto a certe trasformazioni, che rappresenta più propriamente un contenuto di oggettività, nel senso di intersoggettività della sua rappresentazione. Secondo una certa terminologia contemporanea, questo significato**

di "assoluto" corrisponde alla presenza nello spazio-tempo di "oggetti assoluti" e quindi "non-dinamici".

c) un significato di indipendenza dinamica della struttura dello spazio e del tempo rispetto ai corpi e processi.

[T-24]

#### OSSERVAZIONI SU LEIBNIZ E IL RAPPORTO CON NEWTON (C)

4) E` chiaro che il "relazionismo ontologico" leibniziano si contrappone essenzialmente al primo significato del termine, proponendosi di eliminare dalla descrizione della realtà tutti i "punti" dello spazio e del tempo che non sono occupati da corpi o processi; tuttavia anche il secondo ed il terzo significato dovranno entrare in gioco per una concreta formulazione relazionale del moto. In effetti tutti i tentativi intrapresi ad opera di Leibniz e di Huygens, per fondare una concezione relazionale dello spazio e del tempo falliscono proprio perchè non riescono ad introdurre una nozione empiricamente significativa di relatività dinamica del moto al di là della relatività

cinematica, ovvero ad estendere il "principio di indiscernibilità" dalla posizione assoluta al moto assoluto, superando la nozione puramente simmetrica del moto relativo. Tale scacco esprime nello stesso tempo la difficoltà di rappresentare in termini relazionali le possibilità di posizione futura (possibile) dei corpi.

[OSSERVAZIONE SUL RUOLO DELLA 4-DIMENSIONALITA' PER  
L'INCLUSIONE DEL "POSSIBILE" NELLA RAPPRESENTAZIONE  
MATEMATICA DELLO SPAZIO]

[T-25]

OSSERVAZIONI SU LEIBNIZ E IL RAPPORTO CON NEWTON (D)

5) LA DIFFERENZA FRA LA POSIZIONE DI NEWTON E LEIBNIZ E' PROFONDA:

a) PER NEWTON, I PUNTI DELLO SPAZIO POSSIEDONO UNA AUTONOMA INDIVIDUAZIONE [INDIPENDENTE DAI CORPI]. CIO' HA LA CONSEGUENZA CHE SONO CONCEPIBILI DUE CORPI "IDENTICI"

TRANNE CHE PER LA LORO DIFFERENTE POSIZIONE NELLO SPAZIO IN FUNZIONE DEL TEMPO, CONDIZIONE BASE DEL MECCANICISMO.

b) PER LEIBNIZ I PUNTI DELLO SPAZIO NON HANNO ALCUNA REALTA` NE INDIVIDUAZIONE INDIPENDENTE DALLE RELAZIONI FRA LE "SOSTANZE MONADICHE". CIO` HA LA CONSEGUENZA CHE DUE CORPI IN POSIZIONI DIFFERENTI NELLO SPAZIO NON POSSONO ESSERE "IDENTICI" (PER IL "PRINCIPIO DI IDENTITA` DEGLI INDISCERNIBILI", INTESO IN SENSO FORTE, CIOE` CON INCLUSIONE DELLE PROPRIETA` SPAZIALI). PERTANTO DEVE SUSSISTERE "QUALCHE INTERNA DIFFERENZA", NON-RELAZIONALE, CHE LI DISTINGUE.

[T-26]

## CONCEZIONI DELLO SPAZIO E DEL TEMPO

[UNO SGUARDO DA VICINO]

### A1) ASSOLUTISTICA DUALISTICA

Lo spazio e il tempo sono *entità* esistenti *in sè*, dotate di una loro intrinseca struttura, contenenti (e *indipendenti da*) gli oggetti e i processi *materiali*

A)

### A2) ASSOLUTISTICA MONISTICA

Lo spazio esaurisce totalmente la "sostanza" del mondo

materiale. Gli oggetti e i processi non sono che *manifestazioni* o *apparenze* dello spazio

### **B1) RELAZIONALE FENOMENISTICA:**

Lo spazio e il tempo sono *entità ideali* o concettuali astratte, che rappresentano soltanto l'insieme ipostatizzato delle *relazioni fra* (e quindi *dipendenti da*) gli oggetti e i processi materiali *macroscopici* percepibili

**B)**

### **B1) RELAZIONALE ONTOLOGICA:**

Lo spazio e il tempo sono *entità ideali* o meglio "*fenomeni derivativi*", che rappresentano soltanto l'insieme ipostatizzato delle *relazioni fra* (e quindi *dipendenti da*) le "*sostanze semplici reali*" (primarie e non-spazio-temporali)

[T-27]

**Bernhard Riemann [1826 - 1866] (A)**

*"Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen",  
Habilitationvorlesung, letta a Göttingen il 10 giugno 1854, pubblicata postuma  
nel 1867*

<< Se si presuppone che i corpi esistano indipendentemente dal luogo, la misura di curvatura è ovunque costante [spazi di libera

mobilità, dotati di un gruppo di simmetria e quindi di una nozione universale di congruenza residente sulla varietà] ... Se però non si dà tale indipendenza dei corpi dal luogo, non si possono applicare semplicemente all'infinitamente piccolo relazioni metriche eventualmente valide su scala maggiore; in tal caso la misura di curvatura può avere in ogni punto un valore arbitrario in tre direzioni ... complicazioni anche maggiori possono sorgere nel caso in cui non sia possibile rappresentare, come previsto, un elemento lineare mediante la radice quadrata di un'espressione differenziale di secondo grado. Ora, sembra però che i concetti empirici sui quali si fondano le determinazioni metriche spaziali, il concetto di corpo solido e di raggio luminoso, cessino di avere validità nell'infinitamente piccolo; è dunque certamente pensabile che nell'infinitamente piccolo le relazioni metriche dello spazio non si accordino con i postulati della geometria... >>

[T-28]

Bernhard Riemann [1826 - 1866] (B)

<< Il problema della validità dei postulati della geometria nell'infinitamente piccolo è strettamente connesso al problema del fondamento interno delle relazioni metriche dello spazio... In questo problema, che si può considerare proprio della teoria dello spazio,



trova applicazione l'osservazione ... secondo cui in una varietà discreta il principio delle relazioni metriche è già implicito nel concetto di questa varietà [essendo basato sulla la minima cardinalità degli elementi che intervengono], mentre in una varietà continua dev'essere derivato estrinsecamente da qualcos'altro [per la equicardinalità di tutti gli intervalli continui non nulli indipendentemente dalla loro, altrimenti definita, lunghezza: non potendo esistere alcun attributo intrinseco dello spazio fra gli estremi di un intervallo monodimensionale, né alcuna relazione fra gli estremi stessi in virtù della quale si possa dire che, poniamo, l'intervallo AB contiene la "stessa quantità di spazio" di un intervallo CD che non coincida o sia parte di AB]. Quindi, o l'elemento reale che sta alla base dello spazio deve formare una varietà discreta, oppure il fondamento delle relazioni metriche deve'essere cercato altrove, in forze coesive che agiscono su di esso ... Questo però ci conduce nell'ambito di un'altra scienza, nell'ambito della fisica, nel quale certamente la natura dell'incontro odierno non consente di addentrarsi >>

[T-29]

## LA CONCEZIONE ASSOLUTISTICA-MONISTICA CONTEMPORANEA

William K.Clifford [1845 - 1879]

<< I hold in fact: (1) That the small portions of space are in fact of nature analogous to little hills on a surface which is on the average flat; namely that the ordinary laws of (Euclidean) geometry are not

valid in them. (2) That this property of being curved or distorted is continually being passed on from one portion of space to another after the manner of a wave. (3) That this variation of the curvature of space is what really happens in that phenomenon which we call the *motion of matter*, whether ponderable or etherial. (4) That in the physical world nothing else takes place but his variation, subject (possibly) to the law of continuity >>

"On the Space-Theory of Matter", Lecture, 1870;

---

John Archibald Wheeler [1908 - ]

<< There is nothing in the world except empty curved space. Matter, charge, electromagnetism, and other fields are only manifestations of the bending of space. Physics is geometry >>

*Geometrodynamics, Academic Press, New York 1962*

<< A 'geometrodynamical' universe is a world whose properties are completely described by geometry, and a geometry whose curvature changes with time - a dynamical geometry >>

*Nature, 240, Dec., 15(1972) 382*

[T-30]

**LA CONCEZIONE RELAZIONALE EMPIRISTICA CONTEMPORANEA**

Adolf Grünbaum [1920 - ] (A)

<< A relational theory of space and time asserts that: (1) bodies and events first define (through coincidences) points and instants by

conferring their identity upon them, thus enabling them to serve as the *loci* of other bodies and events, and (2) instead of having an intrinsic metric, physical space and time are metrically amorphous pending explicit or tacit appeal to the bodies which are first to define their respective metrics ... How then can we speak of the assumedly continuous physical space as having a metric or *mutatis mutandis* suppose that the physical time continuum has a unique metric ? The answer can be none other than the following: Only the choice of a particular extrinsic congruence standard can determine a unique congruence class, the rigidity or self-congruence of that standard under transport being decreed by convention, and similarly for the periodic devices which are held to be isochronous (uniform) clocks ... Unless one of two segments is a subset of the other, the congruence of two segments is a matter of convention, stipulation, or definition and not a factual matter concerning which empirical findings could show one to have been mistaken. And hence there can be no question at all of an empirically or factually determinate chrono-geometry until after a physical stipulation of congruence..>>

[T-31]

LA CONCEZIONE RELAZIONALE EMPIRISTICA CONTEMPORANEA

Adolf Grünbaum [1920 - ] (B)

<< What warrants the specific interpretation of a mathematical

solution of Einstein's equations as metric tensor of physical space-time is the ontological mediation of other (macroscopic) entities, such as standards of length and duration, which assume, ideally at least, a constitutive role ... Hence the basic philosophical question for the "space-theory of matter" in the Clifford-Weyl-Wheeler vision of geometrodynamics is: What is its principle of individuation ? For, if extra-geometric physical entities and attributes or prior [typically that of the original Einstein's thought] conceptions are to be understood as intra-geometrical ones, then what serves to individuate the metrically homogeneous punctual event elements of the space-time manifold ? >>

**CRITICA:** Viene dunque utilizzato l'argomento di Riemann nel senso che si ritiene che il postulato di continuità fornisca una condizione sufficiente per il suo essere intrinsecamente metricamente amorfo. Ma, sostenere che lo spazio-tempo fisico è una specie che non implica una metrica definita a-priori, non equivale a sostenere che la metrica non sia una proprietà strutturale dello spazio-tempo fisico. Secondo Riemann, le relazioni metriche non possono essere derivate dal concetto stesso di varietà e la loro fondazione va cercata nella natura delle forze fisiche che "tengono insieme" lo spazio. Ciò non implica affatto che la metrica dello spazio-tempo sia convenzionale ma, al contrario, che è naturale e contingente.

[T-32]

## CONCEZIONI DELLO SPAZIO E DEL TEMPO

[LA VISIONE COMPLETA ... O QUASI]

\* A1) ASSOLUTISTICA DUALISTICA [Newton]

Lo spazio e il tempo sono *entità* esistenti *in sè*, dotate di una loro intrinseca struttura, contenenti (e *indipendenti da*) oggetti e processi

\* A2) ASSOLUTISTICA MONISTICA [Descartes, Weyl, Einstein II, Wheeler I]

Lo spazio (spazio-tempo) esaurisce totalmente la "sostanza" del mondo materiale. Gli oggetti e i processi non sono che *manifestazioni* o *apparenze* dello spazio (spazio-tempo)

\* B1) RELAZIONALE FENOMENISTICA [Berkeley, Mach]

Lo spazio e il tempo sono *entità concettuali astratte*, che devono essere direttamente ridotte a *relazioni* fra gli oggetti e i processi materiali *macroscopici* percepibili

\* B2) RELAZIONALE EMPIRISTICA [Reichenbach - Grünbaum]

Spazio e tempo sono "metricamente amorfi" e la loro realtà dipende dalla mediazione ontologica di enti empirici esterni che, assumendo un ruolo costitutivo, riducono la crono-geometria a *relazioni* fra tali enti

\* B3) RELAZIONALE ONTOLOGICA [Leibniz - "pre-geometria" quantistica]

Lo spazio e il tempo sono *entità ideali* o meglio "*fenomeni derivativi*", che rappresentano soltanto l'insieme ipostatizzato delle *relazioni fra* (e quindi *dipendenti da*) gli "*enti semplici*" (Uhr-strutture primarie non-spazio-temporali)

---

\* C) FUNZIONALISTICA [Kant]

Spazio e tempo sono pre-condizioni formali intuitive della percezione

[T-33]

VERSO UNA TEORIA RELAZIONALE DELLO SPAZIO-TEMPO ?

CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLA

## TEORIA DELLA RELATIVITA' GENERALE [TRG] (A)

(1) perde senso la nozione di una metrica intrinseca e fissa dello spazio e del tempo, poichè questa diviene una grandezza dinamica e quindi variabile, soggetta alle equazioni della teoria. Con ciò divengono dinamiche sia le relazioni crono-geometriche sia quelle causali; (2) la metrica spazio-temporale è identificata e unificata con il campo gravitazionale (campo gravitazionale-inerziale e crono-geometrico); conseguentemente, lo spazio-tempo diviene, oltreché causalmente attivo (come già era lo spazio di Newton), anche causalmente passivo; (3) lo spazio-tempo della TRG non è più uno spazio di libera mobilità non avendo una simmetria definita e fissa, Non sussiste più, conseguentemente, una nozione universale di congruenza, intrinsecamente residente nello spazio-tempo; (4) La natura universale dell'interazione gravitazionale implica che non possano esistere oggetti fisici che non siano influenzati dalla gravitazione e quindi non possano esistere collezioni di oggetti che, non partecipando alla dinamica, svolgano la funzione di sistemi di riferimento prefissati e indipendenti. Dunque dovrebbe essere possibile concludere che gli oggetti dinamici (incluso il campo inerziale-gravitazionale) variano (si muovono) non più rispetto allo spazio e al tempo, bensí - relazionalmente - uno rispetto all'altro.

## VERSO UNA TEORIA RELAZIONALE DELLO SPAZIO-TEMPO ?

### CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLA TRG (B)

(5) È la proprietà di contiguità delle grandezze fisiche dinamiche che nella TRG sta alla base della fondazione della struttura spazio-temporale. Nello spirito della teoria, il campo gravitazionale è la sola fra tutte le grandezza dinamiche che, avendo la proprietà di interagire con tutte le altre, determina il moto relativo delle componenti individuali di ogni oggetto che si vuole usare come strumento di misura (regoli e orologi); d'altra parte, non esiste neppure una grandezza interna alla teoria che svolga naturalmente il ruolo di tempo.

(6) A causa di entrambe le ragioni 4) e 5), non solo le coordinate spazio-temporali perdono il loro valore e la loro funzione cronogeometrica oggettiva, ma non possono più nemmeno essere considerate "osservabili" fisiche, se non in casi particolari nei quali possano essere identificate asintoticamente. Tutte le grandezze "osservabili" della teoria devono pertanto essere indipendenti dalle coordinate ovvero, in termini tecnici, "invarianti per diffeomorfismi". Ma le implicazioni sono ancora più profonde, poiché viene resa ambigua la stessa distinzione fra spazio-tempo e "materia". Infine:

(7) Se l'identità dei punti-eventi dello spazio-tempo non può più essere rivelata per il tramite di oggetti esterni alla dinamica, come può esserlo del tutto, e dunque quale significato fisico possono avere i punti-eventi ? ESAMINIAMO DUNQUE LA QUESTIONE DELLA

INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI SPAZIO-TEMPORALI NELLA TRG

[T-35]

## PREMESSE E NOTAZIONI (A)

***TRG, TRS***: teoria della relatività generale, speciale

***M<sup>4</sup>***: varietà differenziabile

***x, y*** : punti e/o coordinate (carte locali)

***D*** : diffeomorfismo (attivo); ***g*** : metrica

***T, F, ...*** : campi tensoriali

***Dg, DT, DF*** : metrica, campi "dragged-along" da ***D***,

[si noti che ***Dg, DT, DF*** sono campi distinti da ***g, T, F***]

***Dx*** : punti e/o coordinate "dragged-along"

***S*** : strutture crono-geometriche non-dinamiche

[es. "rods" and "clocks" in TRS]

[***M<sup>4</sup>, S; g, T, F***]: "modello matematico" spazio-temporale

\* Al contrario di un ***D*** passivo (cambiamento di carte locali), un ***D*** attivo fa passare da un "modello" matematico ad un altro. La importante distinzione fra ***D*** attivi e passivi è facilmente oscurata dal fatto che: per ogni ***D*** attivo tale che  $Dx = x'$ , esiste un ***D*** passivo che cambia le coordinate (non primate) del punto originale nella carta originale nelle coordinate (primate) del nuovo punto nella nuova carta aventi gli stessi valori numerici: vale a dire, il nuovo punto nella nuova carta ha le stesse coordinate del vecchio punto nella vecchia carte:  $(Dx)' = x$ . Con



tali notazioni si ha, per es.  $[Dg(Dx)]' = g(x)$  [dove ora  $x$  sono coordinate]. **NOTA:** Se  $D$  è una simmetria di  $g$ ,  $Dg = g$ .

[T-36]

## PREMESSE E NOTAZIONI (B)

### PRINCIPIO DI COVARIANZA GENERALE (provvisorio)

**<< Un insieme di equazioni dinamiche  
è general-covariante**

**IFF**

**per ogni soluzione  $F(M^4)$  e per ogni  $D$ ,  $DF(M^4)$  è una soluzione >>**

---

**\* I punti  $x$  della varietà matematica  $M^4$   
non posseggono alcuna INDIVIDUAZIONE  
né alcuna proprietà fisica spazio-temporale,**

fino a quando una struttura, dinamica o non-dinamica,  
sia stata introdotta.

[T-37]

## DIE "LOCHBETRACHTUNG" (A)

[A.Einstein, 1913]

$H = \text{"buco"} \mid \partial H = \text{boundary del "buco"} / \Sigma_T = \text{ipersuperficie space-like}$   
parametrizzata da un "tempo globale"  $T$  (assumiamo per semplicità  $M^4$   
globalmente iperbolica:  $M^3 \times R$ )

---

\* CONDIZIONE MATEMATICA DI UNICITA': Le equazioni dinamiche  
cui soddisfa  $g$ , insieme alla specificazione di tutte le sorgenti del  
campo gravitazionale fuori da  $H$ , insieme a opportune condizioni al  
contorno o di altro tipo che possano essere imposte al campo fuori  
da  $H$  e su  $\partial H$ , devono ammettere una unica soluzione  $g(H)$  entro  $H$ .

\* Sia  $D = I$  [identità] fuori di  $H$  e su  $\partial H$  e  $D \neq I$  entro  $H$ .

Segue:  $g(M^4 - H) = Dg(M^4 - H)$ , cioè  $Dg = g$  fuori da  $H$ ,

con stesse sorgenti, condizioni al contorno, ecc...

In particolare  $Dg = g$  su  $\Sigma_T$ . Tuttavia  $Dg \neq g$  in  $H$  (e per gli infiniti  $D$  che soddisfano le date condizioni).

[T-38]

## DIE "LOCHBETRACHTUNG" (B)

### IL DILEMMA DEL "BUCO"

**Avere equazioni dinamiche general-covarianti  
senza unicità delle soluzioni**

**[secondo ogni "ragionevole" definizione di "determinismo" spazio-  
temporale questo ultimo verrebbe meno, almeno nel caso di puro  
campo gravitazionale in un "buco"]**

**OPPURE**

**Avere unicità delle soluzioni**

[e "determinismo" soddisfatto]  
senza covarianza generale delle equazioni dinamiche

[T-39]

### DIE "LOCHBETRACHTUNG": SOLUZIONE (A)

**SEMBRA ESISTERE UNA SOLA VIA DI USCITA DAL DILEMMA:**

Interpretare il campo gravitazionale-inerziale *fisico* come corrispondente ad un'intera classe di equivalenza  $\{ Dg \}$  di "metriche matematiche"  $g$ . TUTTAVIA, tale via di uscita ha profonde implicazioni sulla natura dello spazio-tempo descritto dalla TGR: l'asserzione che  $g(M^4)$  e  $Dg(M^4)$  rappresentano fisicamente lo stesso campo implica che la specificazione matematica dei punti di  $M^4$  (per es. mediante le coordinate di qualche carta che li include) è completamente priva di significato fisico e, al tempo stesso, che l'INDIVIDUAZIONE FISICA dei punti può essere conferita solo dal campo  $g$  stesso.  $Dg$  e  $g$  non devono potersi distinguere in alcun modo nel senso che QUANDO SI CREA IL "DRAG-ALONG  $Dg$  AGENDO SU  $g$ , NON CI SI LASCIA INDIETRO ASSOLUTAMENTE NULLA AVENTE SIGNIFICATO FISICO

IN PARTICOLARE NULLA CHE POSSA INDIVIDUARE UN PUNTO DI  $M^4$  COME LO STESSO PUNTO DELLO "SPAZIO-TEMPO" SIA PER  $g$  CHE PER  $Dg$ . Dunque il punto fisico che per  $Dg$  corrisponde al punto  $x$  per  $g$  non può essere  $x$  ma deve essere  $Dx$ .

[T-40]

**SOLUZIONE (B):** Questo può vedersi valutando le RELAZIONI dei punti  $x$  e  $x'$  per es. rispetto a quattro [in 4 dimensioni] generici punti prefissati  $A,B,C,D$ , posti INTORNO al "buco" [e che supporremo giacere in una regione "convessa"]:

È immediato verificare che il punto che - in termini di intervalli spazio-temporali rispetto ai punti  $A,B,C,D$  (che rimangono inalterati sotto  $D$ ) - possiede, per la metrica  $Dg$ , la STESSA LOCALIZZAZIONE del punto  $x$  per la metrica  $g$ , è proprio  $x' = Dx$ . Tutto ciò ricorda addirittura l'idea di INDIVIDUAZIONE dei punti in termini di RECIPROCO ORDINE SPAZIO-TEMPORALE espressa da Newton nel suo scritto postumo.

## IN CONCLUSIONE:

**$g$  È UN CAMPO INDIVIDUANTE DEI PUNTI SPAZIO-TEMPORALI  
CHE "VESTE" FISICAMENTE  $M^4$ .**

[Tale conclusione falsifica l'asserzione "relazionale empiristica" secondo cui sarebbe necessaria la mediazione ontologica di altre entità materiali perché il ruolo gravitazionale del tensore metrico senza materia sarebbe insufficiente ad ottenere la individuazione]

[T-41]

### **DIE "LOCHBETRACHTUNG": SOLUZIONE (C)**

**UN ESEMPIO CHIARIFICATORE:** lo "spazio dei colori" di Riemann A differenza dei punti dello spazio-tempo, originariamente privi di proprietà intrinseche, uno "spazio di colori" [con ovvio riferimento ai colori "in quanto percepiti"] è una varietà 3-dimensionale ["tinta", "brillanza", "saturazione"] costituito di elementi aventi qualità inerenti che svolgono la funzione di un campo individuante S. Supponendo di avere introdotto anche una metrica g su tale varietà [cosa che Schrödinger ha effettivamente tentato], possiamo operare in due modi: a) operare un "drag-along" di  $g$  ma non di  $S$ ; b) operare un "drag-along" sia di  $g$  che di  $S$ : nel primo caso avremo introdotto una metrica distinta [Dg] sulla varietà dei colori; nel secondo caso non vi sarà alcun cambiamento nella metrica di colore dato che, per ipotesi, il campo individuante è la sola struttura che incorpora la

distinguibilità-individualità dei punti "in quanto colori", rispetto alla originaria mancanza di individuazione dei punti anche se matematicamente distinti. Supponiamo infine che la metrica di colore non sia assegnata una volta per tutte ma sia soggetta ad un sistema di equazioni dinamiche general-covarianti. In questo caso, per definizione, anche  $Dg$  è soluzione delle equazioni e, costituendo una metrica di colore distinta da  $g$ , rende ineludibile il DILEMMA del "buco". Il punto essenziale è evidentemente l'esistenza o meno di un campo individuante specificato indipendentemente da ogni campo dinamico soggetto ad un sistema di equazioni general-covarianti.

[T-42]

### DIE "LOCHBETRACHTUNG": SOLUZIONE (D)

Dunque, la circostanza che le equazioni siano general-covarianti non è sufficiente per consentire la IDENTIFICAZIONE di una classe di campi "dragged-along" come unico CAMPO FISICO sul quale fondare - corrispondentemente - la INDIVIDUAZIONE FISICA dei punti. Se ne ricava l'essenza del

### PRINCIPIO DI COVARIANZA GENERALE

- (1) Il campo metrico determina sia le strutture crono-geometriche che quelle dinamiche (inerziali-gravitazionali)
- (2) il campo metrico soddisfa un sistema di equazioni di campo general-covarianti (nel senso matematico del termine)

(3) NON esistono nello spazio-tempo campi individuanti indipendenti dal campo metrico.

**NOTE:** 1) nella TRS i campi individuanti (non-dinamici) sono dati (storicamente) da un campo di tetradi costruito con "rods" and "clocks", univocamente compatibile con la struttura "inerziale" [alternativamente, dall'uso di particelle test e raggi di luce, ecc...].

2) Secondo il punto di vista, qui sostenuto, per cui non è dato uno spazio-tempo fisico fino a che non è specificato un tensore metrico, nemmeno la topologia della varietà associata ad un modello della teoria può essere specificata a-priori ma deve essere scelta in modo compatibile con la metrica [esistenza di estensioni massimali su varietà con topologie distinte]

[T-43]

## DIE "LOCHBETRACHTUNG": CONSEGUENZE (A)

Si consideri lo spazio  $G$  delle metriche  $g(M^4)$ , il set dei diffeomorfismi  $\Delta = \{D(M^4)\}$  di  $M^4$  in sé stesso e il quoziente  $\hat{G} = G/\Delta$  rispetto alla relazione di equivalenza fra metriche "matematiche" introdotta precedentemente.

Se  $g$  è un rappresentativo di  $\hat{g} \in \hat{G}$ , allora  $\hat{g} = \{Dg\}$  per tutti i  $D \in \Delta$ . Secondo l'analisi precedente, i punti fisici  $\hat{y}$  devono essere INDIVIDUATI dai valori della metrica fisica  $\hat{g}$ .

In corrispondenza ad ogni punto "matematico"  $x \in M^4$ , l'insieme  $\{Dx\}$  ricopre



ovviamente  $M^4$ . Tuttavia, una volta che sia assegnata una metrica matematica  $g \in \hat{g}$ , il punto matematico  $y$  che "rappresenta"  $\hat{y}$  è determinato univocamente (almeno localmente e nell'ipotesi fatta di assenza di simmetrie) dalla condizione che per ogni  $D \in \Delta$ , valga  $g(y) = Dg(Dy)$ . Quindi, un punto fisico dello spazio-tempo è sostanzialmente individuato dall'insieme delle coppie  $\{y, g\}$  che soddisfano la relazione precedente ed è possibile dare un senso a tale espressione utilizzando una qualsiasi delle coppie rappresentative.

## IN CONCLUSIONE

**IL PUNTO  $y$  È FISICAMENTE IDENTICO AL PUNTO  $Dy$  PERCHÉ, IL CAMPO INDIVIDUANTE FISICO ASSUME LO STESSO VALORE NEI DUE PUNTI**

[SI NOTI CHE LA NOTAZIONE CORRETTA E NON SIMBOLICA PER LA FORMULA DI INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI MEDIANTE LA METRICA SAREBBE

$$g_x[X, Y] = (Dg)_{Dx}[DX, DY], \quad X, Y \text{ CAMPI VETTORIALI.}$$

[T-44]

**DIE "LOCHBETRACHTUNG": CONSEGUENZE (B)**

## COORDINATE ASSOLUTE

Introduciamo le seguenti espressioni funzionali indipendenti [P.Bergmann, Phys.Rev.,33 (1961) 510]:

(1)

[ $\gamma$  e  $W$  matrici costruite mediante la metrica e il tensore di Weyl nel formalismo di Petrov, e tensore di Levi-Civita].

Per ogni coppia di metriche matematiche "equivalenti"  $\{g_1, g_2 = Dg_1\} \subset \hat{g}$ , le espressioni (1) forniscono 4 funzioni scalari indipendenti (almeno localmente) che assumono lo stesso *valore numerico* nei punti matematici  $y_1$  e  $y_2 = Dy_1$  corrispondenti allo stesso punto fisico  $\hat{y}$ . Pertanto, le espressioni (1) possono essere utilizzate per identificare intrinsecamente ciascun punto fisico corrispondente ad un punto matematico per ogni scelta di  $g$ .

Le coordinate assolute dei *punti fisici* saranno definite ponendo per es:

(2)

[T-45]

## DIE "LOCHBETRACHTUNG": CONSEQUENZE (C)

Nel sistema di coordinate assolute, il tensore metrico diviene

(3)

Poiché, per ogni  $a$ , è uno scalare, l'espressione è un vettore covariante. Perciò le (3) costituiscono un insieme di 10 scalari costruiti con il tensore metrico e le sue derivate. Tali scalari, la cui forma funzionale in termini dei 4 scalari (2) è univocamente determinata, assumono ovviamente lo stesso valore per tutti gli  $x$  che corrispondono a  $\hat{y}$ .

Considerando invece le (1) come relazioni funzionali, gli sono operatori differenziali che agiscono sul tensore metrico e che, per compatibilità, devono soddisfare, oltre alle equazioni di Einstein le "condizioni di coordinate"

(4)

[T-46]

**DIE "LOCHBETRACHTUNG": CONSEQUENZE (D)**

**PROBLEMA DI CAUCHY E "OSSERVABILI" DI DIRAC**

La covarianza generale delle equazioni di Einstein produce l'esistenza di 4 vincoli sui dati iniziali. Vi sono perciò solo sei equazioni di evoluzione "lagrangiane" [ $E_{ij} = 0, ij = 1,2,3$ ] per 10 componenti incognite della metrica. 4 combinazioni di queste e delle loro derivate temporali sono indipendenti dalle accelerazioni: rimangono 2

equazioni del 2<sup>o</sup> ordine per due simili combinazioni [ridondanza delle 10 componenti della metrica per la descrizione delle geometria spazio-temporale DI CUI CONOSCIAMO GIA` UN ASPETTO]. ORA: quanti gradi di libertà dinamici (hamiltoniani) ha il campo gravitazionale? Un sistema di dati iniziali per il problema di Cauchy consiste nella specificazione di 12 funzioni sulla superficie  $\Sigma_T$  [6 componenti della 3-metrica e 6 del suo "momento coniugato" o curvatura esterna = 20 - 4 vincoli primari -1 Lapse - 3 Shifts). Vi sono 4 ulteriori relazioni imposte dai vincoli (Superhamiltoniano e Supermomenti) che riducono le funzioni da 8 a 4. Delle rimanenti 8 funzioni, 3 corrispondono a D "spaziali" su  $\Sigma$  e 1 a un D "temporale" che agisce su  $\Sigma_T$  stessa. Rimangono 4 funzioni "gauge-independent" ["osservabili" nel senso di Dirac] che corrispondono a 2 gradi di libertà dinamici (che possiamo chiamare "gravitonici" essendo corrispondenti, nell'approssimazione di campo debole della TRG, ai gradi di libertà di un campo lineare di spin 2 che si propaga nello spazio di Minkowski.

[T-47]

## DIE "LOCHBETRACHTUNG": CONSEGUENZE (E)

### OSSERVABILI E INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI

Indichiamo con  $[\xi_1, \xi_2 ; \pi_{\xi_1}, \pi_{\xi_2}]$  i gradi di libertà indipendenti, evoluti con l'Hamiltoniano di Dirac, [avendo ben presente, tuttavia, che attualmente, per l'incapacità di risolvere esplicitamente uno dei 4 vincoli, la loro espressione in termini delle 12 funzioni originali è data

solo in linea di principio]. A questo punto, sempre in linea di principio, la metrica e tutti i campi tensoriali su  $M^4$  possono essere riespressi in funzione dei gradi di libertà dinamici, di funzioni di gauge e vincoli espressi su  $M^4$ . In particolare, le coordinate assolute (2) possono essere riespresse in una forma del tipo:

(5)

Come si vede, i GRADI DI LIBERTA' DINAMICI della metrica, partecipano necessariamente alla INDIVIDUAZIONE FISICA dei punti spazio-temporali attraverso relazioni funzionali non-lineari e dipendenti da *gauge-fixings* CHE NON INTERVENGONO NELLA DETERMINAZIONE DELLE "COORDINATE"  $y^a$  COME ENTITÀ GEOMETRICHE. Ma ciò significa anche che I GRADI DI LIBERTÀ DINAMICI sono completamente ASSORBITI nel processo di individuazione, e quindi che:

**NELLA TGR, A LIVELLO DELLA "FULL-THEORY",  
LA NOZIONE STESSA DI "ONDA GRAVITAZIONALE"  
E' TOTALMENTE PRIVA DI SENSO**

[T-48]

**LA TRG E' UNA TEORIA RELAZIONALE  
DELLO SPAZIO-TEMPO ?**

## LA NATURA PSEUDO-TERMINOLOGICA DELLA DISPUTA (A)

(1) Nella TRG non vi è posto né per particelle puntiformi, né per corpi rigidi estesi: la "materia" viene descritta solamente in termini di campi, o "fluidi" (cioé ancora campi) o "buchi neri" (che sono un particolare stato del campo gravitazionale);

### LO SPAZIO-TEMPO DELLA TRG PUO` DIRSI RIDOTTO A RELAZIONI IN TERMINI DI "MATERIA" ?

(2) Ciò presuppone che, oltre alla individuazione fisica dei punti, sia chiaro cosa debba intendersi per "materia" in quanto distinta dallo spazio-tempo, una volta che quest'ultimo sia stato caratterizzato.

(3) In tali condizioni, la questione della distinzione/opposizione di cui sopra è ricondotta la questione se la metrica stessa debba essere considerata "spazio" o "corpo", rispetto ai "corpi" definiti da tutti gli altri campi (elettromagnetici, nucleari, ecc...).

## LA TRG E' UNA TEORIA RELAZIONALE DELLO SPAZIO-TEMPO ?

### LA NATURA PSEUDO-TERMINOLOGICA DELLA DISPUTA (B)

(5) Secondo alcuni, la metrica sarebbe "corpo", non essendo che un campo come tutti gli altri. In effetti, il campo metrico possiede gran parte degli attributi che sono stati tradizionalmente assegnati alla "materia": è dinamico e soddisfa ad equazioni differenziali, porta e trasferisce energia e momento, ha proprietà radiative simili a quelle del campo elettromagnetico, agisce e subisce azioni. Accogliendo tale punto di vista, la descrizione spazio-temporale emergente dalla TRG sarebbe definitivamente relazionale in un senso forte, non potendosi più avere variazione alcuna o "moto" della "materia" rispetto allo spazio (come avviene secondo la concezione assolutistica dello spazio) bensí soltanto variazioni o "moti" relativi fra "corpi".

TUTTAVIA

## LA TRG E` UNA TEORIA RELAZIONALE DELLO SPAZIO-TEMPO ?

### LA NATURA PSEUDO-TERMINOLOGICA DELLA DISPUTA (C)

(6) Sussistono varie ragioni per le quali il campo metrico non può essere considerato "corpo" come gli altri campi: (a) La metrica introduce non solo - attraverso la sua forma dinamica contingente - l'individuazione dei punti e le relazioni cronogeometriche, ma anche la struttura causale dello spazio-tempo e, ancor più - mediante la sua (assoluta e non dinamica) struttura pseudo-pitagorica - la stessa distinzione fra direzioni spaziali e temporali, che sono tutte condizioni per la propagazione di tutti gli altri campi che, senza  $g$ , "non saprebbero come muoversi relativamente l'uno all'altro". (b) Se ha ragione Hawking, sussisterebbe un' entropia intrinseca (non-epistemica) specifica del campo gravitazionale; (c) Nei limiti critici di tutte le considerazioni cosmologiche, si può pensare ad un "inizio" e a una "fine" della metrica.



[T-51]

**LA TRG E` UNA TEORIA RELAZIONALE DELLO SPAZIO-TEMPO ?  
LA NATURA PSEUDO-TERMINOLOGICA DELLA DISPUTA (D)**

**7) Contro la tesi del campo metrico come "corpo", sussiste infine un argomento più profondo. Tale tesi rientra in una grande ipotesi di "unificazione generale" della fisica. Da questo punto di vista, il campo metrico sarebbe appunto un campo "come tutti gli altri" che sussisterebbe come campo quantistico a livello microscopico (o, più propriamente, ultra-microscopico), a livello macroscopico-cosmologico determinerebbe le proprietà gravitazionali dei grandi aggregati di materia e, a livello di laboratorio, attraverso l'intermediazione degli altri campi che strutturano le proprietà dei corpi rigidi (e degli orologi), si manifesterebbe come la geometria (o crono-geometria) che conosciamo fin dai tempi di Euclide.**

**SI AVREBBE IN TAL MODO UNA COMPLETA FISICALIZZAZIONE  
DELLA GEOMETRIA.**

**TUTTAVIA**

**QUESTO PROGRAMMA NON E` ATTUALMENTE  
REALIZZATO E APPARE ASSAI DIFFICILMENTE**

# **REALIZZABILE.**

[T-52]

## **I VARI SIGNIFICATI DEL TERMINE "ASSOLUTO" RIFERITO ALLO SPAZIO (SPAZIO-TEMPO)**

**[SECONDO UNA CONSIDERAZIONE STORICAMENTE RETROSPETTIVA]**

- 1) Lo spazio come "contenitore" delle cose: il cuore di questa concezione è il cosiddetto "sostantivalismo": I PUNTI HANNO UNA REALTA' INTRINSECA. Il sostantivalismo possiede due raffinamenti:  
a) l'esistenza dello spazio non è dipendente dall'esistenza di altro;  
b) lo spazio non è riducibile a relazioni fra i corpi.**
- 2) autonomia ontologica della individuazione dei punti e/o della metrica rispetto al ruolo svolto dagli strumenti di misura.**
- 3) autonomia ontologica totale: lo spazio (spazio-tempo o la sua curvatura) come unica "sostanza" del mondo.**
- 4) esistenza di "oggetti assoluti non-dinamici" e, conseguentemente, di simmetrie: esempio spazio-tempo di Minkowski, spazio+tempo newtoniano.**

**5) attività causale ma indipendenza causale ("im-passibilità") rispetto alla presenza di "oggetti materiali" e/o "processi".**