

## 4 IL SENSO DELLO SPAZIO E DEL TEMPO

### Lo spazio e il tempo e la loro rappresentazione

*D'ora in poi, lo spazio di per sé e il tempo di per sé sono destinati a svanire in mere ombre, e solo un tipo di unione dei due manterrà una realtà indipendente*

Hermann Minkowski

*Il Tempo e lo Spazio morirono ieri. Noi viviamo già nell'assoluto, poiché abbiamo già creato l'eterna velocità onnipresente*

Filippo Tommaso Marinetti

#### 4.1 La rivoluzione scientifica dei concetti di spazio e tempo

All'inizio dell'Ottocento si pensava che lo spazio esistesse indipendentemente dagli oggetti materiali e che il tempo scorresse eguale per osservatori situati in punti differenti dell'Universo, siano essi immobili o in movimento gli uni rispetto agli altri. Lo spazio era concepito come una stanza vuota che contiene gli oggetti che compongono il mondo, ma che esisterebbe anche se questi oggetti non esistessero. Un unico orologio segna il tempo dell'Universo: due eventi che siano simultanei per un osservatore situato in un particolare punto della stanza lo sono anche per altri osservatori che si trovano in punti diversi della stanza.

Nel corso del secolo i matematici scoprirono che, cambiando uno dei postulati della geometria di Euclide, era possibile ottenere differenti teorie logicamente non-contraddittorie, quelle che oggi chiamiamo le *geometrie non-euclidee*. L'esistenza di queste nuove possibilità matematiche confutò definitivamente l'idea, fino ad allora dominante, che la geometria euclidea fosse l'unica descrizione logicamente possibile dello spazio fisico e, con essa, mise anche in crisi la teoria, sostenuta con grande autorevolezza dal filosofo Immanuel Kant, che i nostri concetti dello spazio fisico e del tempo fisico fossero innati e non basati sulla nostra esperienza sensibile. La passione di fisiologi e psicologi per misurare ogni tipo di sensazione condusse a porsi seriamente la domanda: in che modo noi, esseri umani, *percepriamo lo spazio fisico*, come passiamo dalle nostre sensazioni spaziali a una metrica degli oggetti, a una misurazione dello spazio, cioè a una teoria geometrica?

La risposta che diede nel 1870 Helmholtz fece capire come fosse possibile descrivere lo spazio fisico usando geometrie non-euclidee e come la scelta fra queste possibilità fosse un problema empirico che doveva essere risolto sulla base di osservazioni sperimentali. Al volgere del secolo, il grande scienziato francese Henri Poincaré (1854-1912) trasse da queste idee conseguenze piuttosto radicali, la teoria filosofica nota come *convenzionalismo*: se ci sono diverse geometrie possibili per descrivere lo spazio fisico non possiamo dire che una sia vera e le altre false, ma sono tutte delle convenzioni e la decisione a favore dell'una o dell'altra è un problema pratico, quello della scelta della descrizione più semplice e più utile.

Lo stesso Poincaré ed Albert Einstein (1879-1955) si sarebbero posti anche la domanda: come noi esseri umani *misuriamo il tempo fisico*, come passiamo dalle nostre sensazioni a un ordinamento di queste stesse sensazioni e degli *eventi esterni* in base a una relazione 'prima-e-dopo'? La risposta che Einstein diede a questa domanda con la sua teoria detta della *relatività ristretta* del 1905 avrebbe iniziato una rivoluzione dei nostri concetti di spazio e di tempo che lo

stesso Einstein avrebbe portato a compimento con la teoria della *relatività generale*, formulata nel 1915.

Questa teoria ci dice che lo spazio e il tempo fisici costituiscono un'unica entità, lo *spazio-tempo*, e non esistono *indipendentemente* dagli oggetti. Non esiste spazio 'vuoto', non esiste la stanza vuota senza gli oggetti. La geometria dello spazio-tempo può essere differente in zone diverse dell'Universo: può essere Euclidea o non-Euclidea e ciò dipende dalla quantità di materia ed energia presenti in quelle zone. Non esiste un unico orologio universale e il tempo scorre a velocità diversa per osservatori situati in punti diversi dell'Universo, a seconda del loro movimento relativo, gli uni rispetto agli altri, e a seconda della quantità di materia ed energia che esiste in quella regione dell'Universo. Scriverà Einstein nei suoi ultimi anni:

«Considerati da un punto di vista logico [i concetti di spazio, di tempo e di evento] sono libere creazioni dell'intelletto umano, strumenti del pensiero, che debbono servire allo scopo di porre le esperienze in relazione l'una con l'altra, e di poterle quindi abbracciare meglio con lo sguardo. Il tentativo di rendersi conto delle fonti empiriche di questi concetti fondamentali deve mostrare in quale modo noi siamo effettivamente legati a questi concetti. In tal modo diventiamo coscienti della nostra libertà [...] Perché mai è necessario trascinare giù dalle sfere olimpiche di Platone i concetti fondamentali del pensiero scientifico, e sforzarsi di svelare il loro lignaggio terrestre? Risposta: allo scopo di liberare questi concetti dai *tabù* loro annessi, e pervenire così a una maggiore libertà nella formazione dei concetti.» [A. Einstein, *La relatività e il problema dello spazio* (1952), in A. Einstein, *Relatività: esposizione divulgativa e scritti classici su Spazio, Geometria, Fisica*, Boringhieri 1967 pp. 299-300].

La teoria della relatività einsteiniana comincia a diventare conosciuta al grande pubblico, e anche agli artisti, solo dopo la Prima Guerra Mondiale, ma sappiamo che le idee sullo spazio e il tempo di Poincaré e Mach erano note ad alcune cerchie di artisti in Francia e in Germania già prima della Guerra e anche questi giovani artisti si liberarono dei "*tabù* annessi" ai concetti di spazio e di tempo, arrivando nell'arte "a una maggiore libertà nella formazione dei concetti", così come, negli stessi anni, vi sarebbe arrivata la scienza.

## 4.2 Le geometrie non-euclidee

«Nella meccanica newtoniana [...] la 'realtà fisica' , pensata come indipendente dai soggetti che la sperimentano, era concepita come se consistesse, per lo meno di principio, di spazio e tempo da un lato, e dall'altro di punti materiali, in permanenza esistenti, in moto rispetto allo spazio e al tempo. L'idea dell'esistenza autonoma di spazio e di tempo può venire drasticamente espressa in questo modo: se la materia dovesse scomparire, rimarrebbero ancora spazio e tempo soli.» (come una specie di palcoscenico per gli eventi fisici) [A. Einstein, *La relatività e il problema dello spazio*, p. 302].

Questa idea dello spazio costituisce una generalizzazione piuttosto naturale della nostra esperienza sensoriale di esseri che si muovono in una regione ristretta di esso:

«Il concetto di spazio è suggerito da certe esperienze primitive. Supponiamo che si sia costruita una scatola. Vi si possono disporre in un certo ordine degli oggetti, in modo che essa risulti piena. La possibilità di queste disposizioni è una proprietà dell'oggetto materiale 'scatola', qualcosa che è dato con la scatola, lo 'spazio racchiuso' dalla scatola'. Questo è qualcosa [...] che in modo del tutto naturale viene pensato come indipendente dal fatto che vi siano o no, in generale, degli oggetti nella scatola. Quando non vi sono degli oggetti nella scatola, il suo spazio appare 'vuoto'. [...] Le maniere in cui si possono sistemare i corpi nello spazio (per esempio nella scatola) formano l'argomento della geometria euclidea a tre

dimensioni, la cui struttura assiomatica ci induce facilmente nell'errore di dimenticare che essa si riferisce a situazioni percepibili» [Einstein, *La relatività e il problema dello spazio*, pp. 295-6].

Kant aveva interpretato lo spazio e il tempo newtoniani, esistenti indipendentemente dalle cose, come requisiti necessari della stessa conoscenza sensibile e dunque come schemi innati e non acquisiti per mezzo dell'esperienza. Per Kant la geometria euclidea esprimeva delle verità confermate dall'intuizione e non dall'esperienza sensibile: l'intuizione ci dà una certezza assoluta della verità dei postulati di Euclide, senza bisogno di tracciare righe sulla carta o misurare triangoli.

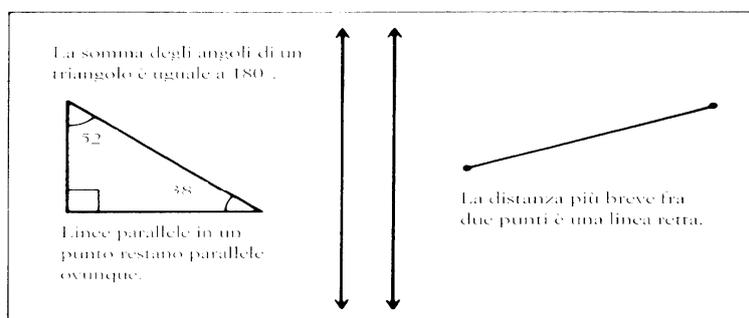
Per cercare di capire come funzionerebbero questi schemi innati, pensiamo a un programma di un odierno *computer* che contenga le istruzioni per far muovere un *robot*. Supponiamo che il programma contenga solamente le istruzioni per riconoscere linee e angoli retti e superfici piane: se il robot capita in una normale stanza che contiene solo oggetti quadrati e rettangolari, il robot è in grado di muoversi; se il robot capita in una stanza dalle pareti curve e che contiene oggetti sferici, il robot non può muoversi. Il punto è che, per Kant e i suoi contemporanei il robot non può capitare in una stanza dalle pareti curve, perché stanze di quel genere non esistono: esistono solo stanze quadrate con oggetti quadrati e il robot è *programmato* in quel modo perché il mondo è in quel modo, contenuto nello spazio-scatoia di Newton. La scoperta che fosse matematicamente possibile una geometria diversa da quella euclidea rese possibile pensare che il robot poteva, dopo tutto, essere programmato diversamente e che potesse scoprire per prova ed errore, cioè empiricamente, se la stanza dove si muoveva fosse quadrata oppure curva.

Prendiamo il quinto postulato di Euclide, l'assioma delle parallele: se ne possono dare più formulazioni, diverse da quella originale di Euclide ma logicamente equivalenti ad essa. Due di tali formulazioni sono le seguenti: la prima dice che, data una retta ed un punto al di fuori di essa, esiste una e una sola parallela alla retta data passante per il punto dato; la seconda dice che la somma degli angoli interni di un triangolo è  $180^\circ$ . Nella prima metà dell'Ottocento venne dimostrato come cambiare il quinto postulato non portasse a nessuna contraddizione logica, bensì a dei nuovi sistemi geometrici.

Questi nuovi sistemi sono tre, perché, data una retta e un punto fuori di essa ci sono solo tre possibilità circa le parallele alla retta data passanti per quel punto:

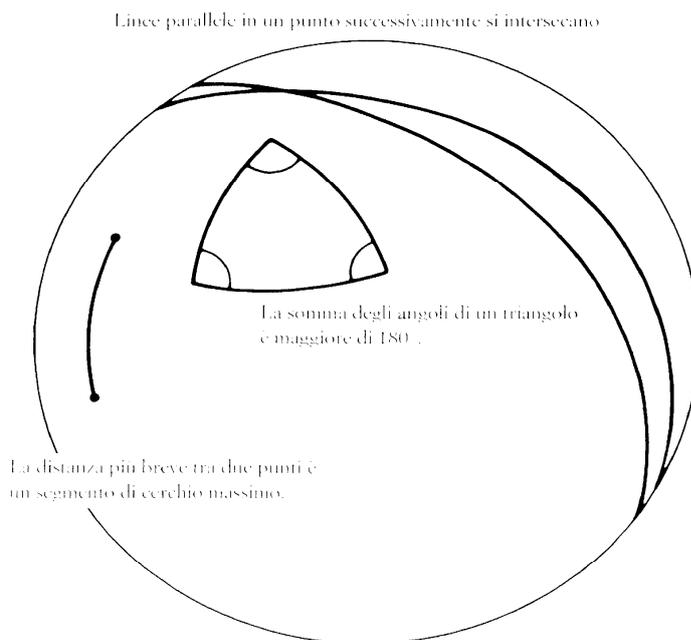
- (1) esiste una e una sola parallela;
- (2) non esiste nessuna parallela;
- (3) esiste più di una parallela.

La prima possibilità definisce la geometria di Euclide. Se consideriamo solo uno spazio a due dimensioni, abbiamo il piano euclideo.



Euclide 5c

La seconda possibilità definisce la geometria chiamata di *Riemann o ellittica*, così chiamata dal nome del matematico tedesco Bernhard Riemann (1826-1866). In questa geometria la somma degli angoli interni di un triangolo è maggiore di  $180^\circ$  e un *modello parziale* dello spazio bidimensionale riemanniano è la superficie della sfera. Un punto del piano riemanniano corrisponde a un punto sulla sfera; una 'retta' del piano riemanniano che collega due punti qualsiasi è la linea che minimizza la distanza fra di essi sulla superficie. Su una sfera questa è la curva di minima distanza (la geodetica) che corrisponde al segmento di cerchio massimo passante per i due punti (un cerchio massimo è una circonferenza il cui centro è il centro della sfera).



I primi quattro postulati di Euclide sono soddisfatti ma non il quinto e, al suo posto, è verificata la seconda possibilità fra quelle elencate in precedenza: non ci sono parallele, perché due rette che sono parallele in un punto finiscono per incontrarsi (tutti i cerchi massimi si incontrano agli antipodi). Questo è un *modello parziale* della geometria di Riemann, perché nel piano di Riemann, così come in quello di Euclide, due rette hanno solo un punto in comune, mentre sulla sfera due cerchi massimi hanno due punti in comune (il Polo Sud e il Polo Nord): a rigore, il modello corrisponderebbe al piano riemanniano solo se ci limitiamo a una porzione della superficie della sfera che non contiene punti opposti, come i due poli.

La terza possibilità definisce la geometria chiamata di *Lobacevskij o iperbolica*, dal nome del matematico russo Nikolaj Lobacevskij (1792-1856). In questa geometria la somma degli angoli interni di un triangolo è minore di  $180^\circ$ . Il modello dello spazio bidimensionale di Lobacevskij è quello della superficie di una sella. Su questa superficie la curva che minimizza la distanza fra due punti qualsiasi è un segmento di iperbole e, poiché due rette parallele in un punto successivamente divergono, dati un punto ed una retta per quel punto possiamo far passare un numero infinito di parallele alla retta data perché, sopra e sotto quel punto, il fascio di parallele diverge all'infinito.

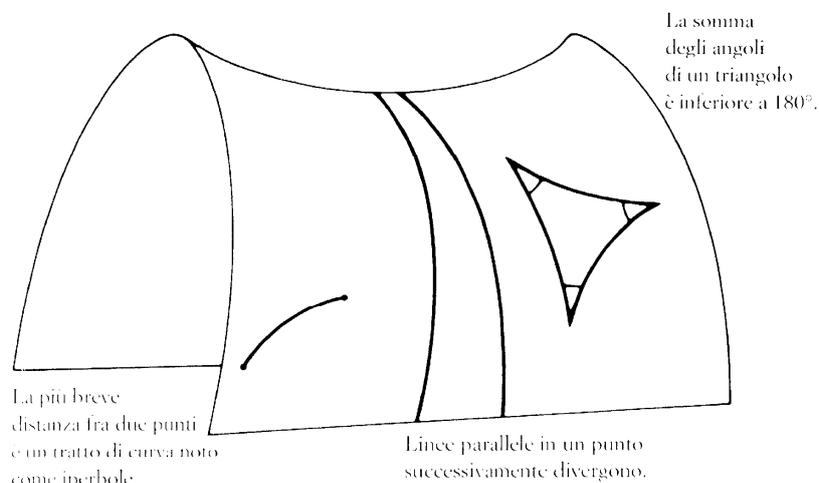


Figura 7b

Ovviamente già dall'Antichità si sapeva che esistevano delle figure geometriche, come un triangolo sulla superficie di una sfera, per le quali si poteva formulare una teoria coerente non euclidea, la trigonometria sferica. Il punto è che la superficie della sfera è uno *spazio a due dimensioni contenuto in uno spazio a tre dimensioni euclideo*. Gli scienziati prima di Riemann sapevano che la superficie terrestre, su larga scala, non soddisfa gli assiomi di Euclide, ma essi pensavano che la sfera terrestre fosse contenuta in un spazio che era euclideo (lo 'spazio-scatoia') e che non poteva non essere euclideo. Le geometrie non-euclidee resero possibile pensare a spazi *tridimensionali* non-euclidei, e anche a spazi con più di tre dimensioni, che non possono essere visualizzati perché non sono contenuti in uno spazio tridimensionale euclideo.

### 4.3 I righelli di Helmholtz

Se altre geometrie sono matematicamente coerenti, allora la questione se la geometria del mondo in cui viviamo sia euclidea diventa una questione sperimentale e Hermann von Helmholtz fu tra i primi ad affermarlo esplicitamente nel 1870.

Qualunque discorso sullo spazio è un discorso sulle nostre *operazioni fisiche di misura*, nelle quali sono coinvolti non solamente oggetti fisici ma il nostro stesso corpo: i nostri sensi sono strumenti di misura, come lo stesso Helmholtz aveva investigato nei suoi studi di fisiologia. Quando prendiamo delle misure con un righello, quello che effettivamente osserviamo non è altro che una serie di coincidenze di punti, o *congruenze*, fra oggetti materiali. Le estremità del nostro righello, un oggetto rigido, coincidono con le estremità di un altro oggetto e noi supponiamo che, durante le operazioni di misura, sia le proprietà fisiche del righello (ad esempio la sua lunghezza) che quelle dell'oggetto misurato *restino invariate*.

«Noi misuriamo distanze di punti applicando a essi il compasso o il regolo o la fettuccia metrica. Noi misuriamo angoli situando il cerchio graduato o il teodolite al vertice dell'angolo. Inoltre determiniamo linee rette mediante il percorso di raggi di luce, rettilineo secondo la nostra esperienza. Tutte le nostre misure geometriche sono dunque basate sul presupposto che gli strumenti di misura da noi ritenuti rigidi siano effettivamente corpi di forma invariabile o perlomeno non subiscano

altre variazioni di forma oltre quelle che conosciamo, come quelle dovute al cambiamento di temperatura o al diverso valore della gravità in luoghi diversi. Quando misuriamo non facciamo altro che eseguire con i mezzi migliori e più attendibili a noi noti ciò che altrimenti sogliamo fare con misura visuale, col tatto o misurando i passi. Negli ultimi casi lo strumento di misura è il nostro stesso corpo con i suoi organi, che portiamo in giro nello spazio. Talvolta è la mano, talvolta sono le gambe a fungere da compasso, o è l'occhio—ruotando in tutte le direzioni—a fungere da teodolite per la misura di archi e angoli nel campo visivo. Ogni stima comparata di grandezze o misurazione di loro relazioni spaziali muove dunque da un presupposto relativo al comportamento fisico di certi oggetti naturali, si tratti del nostro stesso corpo o di altri strumenti" [H. von Helmholtz, *Sull'origine e il significato degli assiomi geometrici* (1870), in A. Einstein, *Relatività: esposizione divulgativa. E altri scritti classici su Spazio, Geometria, Fisica*, Boringhieri, Torino 1974, p. 241].

Ai tempi di Helmholtz si sapeva che le dimensioni di un corpo rigido dipendono dalla temperatura (i corpi riscaldati si dilatano e perciò di questo bisogna tener conto nell'effettuare operazioni di misura) mentre si credeva, sempre secondo le leggi della fisica di quel tempo, che non dipendessero dallo stato di moto del corpo stesso né dal punto particolare dell'Universo in cui si trova. Ma, osservava Helmholtz, che queste leggi siano vere è semplicemente un fatto empirico, e le cose potrebbero anche essere diversamente.

Per Helmholtz non vi erano difficoltà di principio nell'immaginare mondi non-euclidei. In particolare, poiché le operazioni di misurazione spaziale sono osservazioni di congruenze, si può immaginare un mondo non-euclideo che sarebbe indistinguibile da un mondo euclideo, *sulla base di operazioni di misura puramente geometriche* (nella citazione che segue per spazio "pseudosferico" e "sferico" Helmholtz intende, rispettivamente, la geometria di Lobacevskij e quella di Riemann).

«Si può immaginare un determinato comportamento dei corpi che a noi appaiono rigidi, nel quale le misure dello spazio euclideo risulterebbero eguali a quelle che fossero eseguite nello spazio pseudosferico o sferico. Per visualizzare ciò ricordo innanzitutto che se tutte le dimensioni lineari dei corpi che ci circondano, e quelle del nostro corpo con essi, fossero tutte rimpicciolite o tutte ingrandite nello stesso rapporto, per esempio della metà o del doppio, non saremmo assolutamente in grado di rilevare un tale cambiamento con i nostri mezzi di percezione spaziale. [...] Si pensi all'immagine della realtà che ci dà uno specchio convesso» [Helmholtz, *Sull'origine e il significato degli assiomi geometrici*, p. 242].

Immaginiamo, scrive Helmholtz che le nostre immagini speculari siano degli esseri reali che vivono dentro lo specchio convesso.

«L'immagine di un uomo che misuri con un regolo una linea retta che si allontana dallo specchio si contrarrebbe tanto più, quanto più l'originale si allontana, ma l'uomo nell'immagine con il suo regolo che si contrae di altrettanto conterebbe lo stesso numero di centimetri che conterebbe l'uomo reale; in generale tutte le misure geometriche di linee od angoli eseguite con le immagini speculari – variabili con regolarità – di strumenti reali darebbero esattamente gli stessi risultati che nel mondo esterno, a tutte le linee di visuale del mondo esterno corrisponderebbero linee di visuale nello specchio. In breve, non vedo come gli uomini nello specchio potrebbero scoprire che i loro corpi non sono rigidi e le loro esperienze buoni esempi della correttezza degli assiomi di Euclide [...] e se gli uomini dei due mondi potessero conversare gli uni con gli altri, nessuno dei due potrebbe convincere l'altro di avere lui le vere relazioni e l'altro quelle errate; anzi, non vedo come un tale problema possa avere un senso finché non facciamo intervenire considerazioni meccaniche» [Helmholtz, *Sull'origine e il significato degli assiomi geometrici*, pp. 242-3].

Solo eseguendo delle misurazioni di quantità fisiche, dice Helmholtz, gli uomini nello specchio potrebbero scoprire di vivere in un mondo non-euclideo, a patto naturalmente che “gli uomini dei due mondi” condividano le stesse teorie fisiche. Non vi è dunque nulla di contraddittorio né di fisicamente impossibile in tale immagine, contrariamente a quanto pensava Kant. Il nostro spazio percettivo, lo spazio attorno a noi e che i nostri sensi sono in grado di percepire è Euclideo, ma questa non è una ragione per concludere che la geometria euclidea sia l'unica possibile.

«Dalle leggi note delle nostre percezioni sensibili si può dedurre la serie di impressioni sensibili che ci darebbe un mondo sferico o pseudosferico se esistesse. Anche in ciò non incontriamo mai alcuna contraddizione o impossibilità [...]. Non possiamo quindi ammettere che gli assiomi della nostra geometria siano fondati sulla forma innata della nostra facoltà di percezione, o che siano a essa connessi in alcun modo.» [Helmholtz, *Sull'origine e il significato degli assiomi geometrici*, cit., pp. 246-7].

Di conseguenza, noi potremmo usare anche una geometria non-euclidea per descrivere il mondo euclideo in cui viviamo, a patto di essere disposti a modificare in maniera adeguata le leggi fisiche.

“Se lo trovassimo utile per un qualche scopo, potremmo considerare in maniera perfettamente coerente lo spazio in cui viviamo come uno spazio apparente dietro uno specchio convesso, con il suo tipico sfondo accorciato e contratto [...] Solo che allora dovremmo attribuire ai corpi che ci appaiono rigidi, e con essi al nostro corpo, le corrispondenti dilatazioni e contrazioni, e dovremmo inoltre cambiare completamente il sistema dei nostri principi meccanici.” [Helmholtz, *Sull'origine e il significato degli assiomi geometrici*, pp. 247-8].

#### **4.4 Il senso dello spazio di Poincaré**

Nel suo libro *La scienza e l'ipotesi* (1902) il matematico e fisico Henri Poincaré arrivava a conclusioni ancora più radicali di quelle a cui era giunto Helmholtz.

«Gli assiomi della geometria [...] sono delle *convenzioni*; la nostra scelta fra tutte le convenzioni possibili è guidata da fatti sperimentali, ma rimane libera ed è limitata solo dalla necessità di evitare ogni contraddizione. [...] In altri termini, gli assiomi della geometria sono definizioni camuffate. Cosa bisogna allora pensare di questa domanda: ‘È vera la geometria euclidea?’. Essa non ha alcun senso. Come non lo ha chiedere se il sistema metrico sia vero e le antiche misure false; se le coordinate cartesiane siano vere e le coordinate polari false. Una geometria non può essere più vera di un'altra; essa può essere soltanto più comoda. [...] Ora, la geometria euclidea è e resterà sempre la più comoda: 1° perché è la più semplice; ed essa è tale non solo rispetto alle nostre abitudini intellettuali o per non so quale intuizione diretta che noi avremmo dello spazio euclideo; essa è la più semplice in sé [...] 2° perché essa si accorda abbastanza bene con le proprietà dei solidi naturali, corpi, questi, che tocchiamo con le nostre membra e che vediamo con i nostri occhi e con i quali facciamo i nostri strumenti di misura. [...] La principale ragione per cui la nostra geometria ci sembra comoda è che le diverse parti del nostro corpo, il nostro occhio, le nostre membra, godono esattamente delle proprietà dei corpi solidi. A questo riguardo, le nostre esperienze fondamentali sono prima di tutto delle esperienze fisiologiche, che vertono non sullo spazio che è l'oggetto che deve studiare il geometra, ma sul corpo, cioè sullo strumento di cui deve servirsi per questo studio» [H. Poincaré, *La scienza e l'ipotesi*, in *Opere epistemologiche* vol.I, Piovan, 1989, pp. 94-5; 156].

Poincaré sosteneva anche l'idea che il nostro spazio percettivo sia una costruzione che il nostro cervello compie attraverso il coordinamento degli atti motori potenziali ed effettivi compiuti dai nostri apparati sensoriale (mani, piedi, bocca, occhi, ecc.). Come per Helmholtz, anche per Poincaré noi percepiamo e concettualizziamo lo spazio attorno a noi *muovendoci* in tale spazio: il nostro corpo, con i suoi *movimenti*, è lo strumento di misura dello spazio percettivo perché solo compiendo degli atti motori, muovendo le braccia o le gambe, ruotando gli occhi, noi possiamo localizzare gli oggetti esterni.

«Per esempio, al momento  $\alpha$  la presenza di un oggetto A mi è rivelata dal senso della vista; in un altro momento  $\beta$  la presenza di un altro oggetto B mi è rivelata da un altro senso, che può essere l'udito o il tatto. Io giudico che l'oggetto B occupa la stessa posizione dell'oggetto A. Come sono in grado di rendere questo giudizio? [...] Le impressioni che ci sono giunte da questi oggetti hanno seguito strade completamente diverse e non hanno nulla in comune da un punto di vista qualitativo. Le rappresentazioni che possiamo formare di questi due oggetti sono assolutamente eterogenee e irriducibili le une alle altre. Solamente so che, per afferrare l'oggetto A io devo solamente stendere il mio braccio destro in un certo modo; e anche se mi astengo dal farlo, mi rappresento le sensazioni muscolari e altre analoghe sensazioni che accompagnano l'atto di stendere il braccio, e quella rappresentazione è associata con quella dell'oggetto A. E io so egualmente che posso raggiungere l'oggetto B stendendo il mio braccio destro nello stesso modo, un atto accompagnato dalla stessa catena di sensazioni muscolari. E io non intendo nient'altro che questo quando dico che questi due oggetti occupano la stessa posizione» [H. Poincaré, *Scienza e metodo* (1908)]

In un libro pubblicato postumo l'anno dopo la sua morte (*Dernières pensées*, 1913) Poincaré scriveva:

«Scarterò in primo luogo l'idea di un preteso senso dello spazio che ci farebbe localizzare le nostre sensazioni in uno spazio bell'è fatto, la cui nozione sarebbe preesistente a qualsiasi esperienza, e che prima di qualsiasi esperienza avrebbe tutte le proprietà dello spazio della geometria. Cos'è in pratica questo preteso senso dello spazio? Quale esperimento eseguiamo quando vogliamo sapere se un animale lo possiede? Gli mettiamo vicino degli oggetti che desidera e osserviamo se è in grado di compiere senza incertezze i movimenti necessari per raggiungerli. E come ci accorgiamo che le altre persone sono dotate di questo prezioso senso dello spazio? Ce ne accorgiamo dal fatto che anch'esse sono in grado di contrarre opportunamente i muscoli per raggiungere oggetti la cui presenza è loro segnalata da alcune sensazioni. Cos'altro troviamo quando sperimentiamo il senso dello spazio nella nostra coscienza individuale? Anche qui, di fronte a varie sensazioni, sappiamo che potremmo fare dei movimenti con cui raggiungere gli oggetti che consideriamo causa di queste sensazioni, e agire così su queste sensazioni, farle sparire o renderle più intense; la sola differenza è che, per rendercene conto, non abbiamo bisogno di compiere effettivamente questi movimenti, ma è sufficiente che ce li rappresentiamo [...] Il senso dello spazio si riduce quindi a una associazione costante tra certe sensazioni e certi movimenti, o la rappresentazione di questi movimenti [...] non intendo con ciò la rappresentazione di questi movimenti nello spazio, ma la rappresentazione delle sensazioni (propriocettive, cinestetiche, ecc.) che li accompagnano. [...] Gli arti, con i quali compiamo questi movimenti, svolgono anch'essi in un certo senso il ruolo di strumenti di misura. Questi strumenti sono meno precisi di quelli dello scienziato, ma ci sono sufficienti nella vita di tutti i giorni, e per mezzo loro il bambino, come l'uomo primitivo, ha misurato lo spazio che gli è sufficiente per le esigenze della vita quotidiana. Il nostro corpo è il nostro primo strumento di misura. Stando così le cose, lo spazio ha delle proprietà geometriche indipendenti dagli strumenti che servono a misurarlo? Abbiamo detto che può subire qualsiasi

deformazione senza che ce ne accorgiamo, se i nostri strumenti subiscono un'analoga deformazione. In realtà, dunque, lo spazio è amorfo, è una forma flaccida, inconsistente, applicabile a tutto; non ha caratteristiche proprie.»[H. Poincaré, *Spazio e tempo*, in A. Einstein, *Relatività: esposizione divulgativa. E altri scritti classici su Spazio, Geometria, Fisica*, Boringhieri, 1974, pp. 281; 282-3].

#### 4.5 L'occhio della mente e la Quarta Dimensione

Paul Cézanne (1839-1906) era al corrente dei risultati della psicologia e della fisiologia del suo tempo. La sua pittura voleva andare oltre la prospettiva fisiologica degli Impressionisti: questi erano i pittori dell'occhio, mentre egli voleva essere il pittore del cervello. In una conversazione del 1904, affermava che "un pittore è due cose: occhio e cervello e ciascuna dovrebbe aiutare l'altra. L'occhio e il cervello insieme provvedono gli strumenti per esprimersi, l'occhio guardando alla natura e il cervello con l'organizzazione logica delle sensazioni, e dunque è necessario lavorare perché si sviluppino insieme". Ma è il cervello che ha la prevalenza: "L'occhio assorbe [...] ma è il cervello che produce la forma".

Ciò che si vede è, per Cézanne, è caotico ed è il pittore che dà ordine a ciò che si vede: "Io sono la coscienza soggettiva di questo paesaggio e la mia tela è la coscienza oggettiva. La mia tela e il paesaggio, l'una e l'altro al di fuori di me, ma il secondo caotico, casuale, confuso, senza vita logica, senza qualsiasi razionalità; la prima duratura, categorizzata, partecipa della modalità delle idee" [cit. da De Micheli, *Le avanguardie artistiche del Novecento*, Feltrinelli, Milano 2004, p. 209]. Nel quadro *Montagne Sainte-Victoire* del 1887 i rami del pino strutturano il primo piano e le loro curve sono riprese dal profilo della montagna, creando un effetto che va contro l'illusione della profondità. È come se ci venisse richiesto, per 'vedere' questa superficie piana come una rappresentazione di un paesaggio naturale, di riprodurre consciamente il lavoro che compie il cervello, costruendo un'immagine tridimensionale a partire da quella bidimensionale impressa sulla retina.

Il cervello produce la forma a partire da forme elementari: "In natura tutto è modellato secondo tre moduli fondamentali: la sfera, il cono e il cilindro. Bisogna imparare a dipingere queste semplicissime figure, poi si potrà fare tutto ciò che si vuole". Nelle ultime versioni della *Montagna Sainte-Victoire*, come in quella del 1902-4, Cézanne abbandonerà l'osservazione e l'analisi delle sensazioni per arrivare a una costruzione decisamente 'mentale'. Cézanne e la scoperta dell'arte primitiva sono due dei modelli che seguiranno

«quei giovani pittori che reagivano all'Impressionismo e miravano alla coesa composizione di forme elementari e decise. Quei pittori e i loro seguaci espressero spesso il desiderio di rappresentare forme durevoli o essenziali di oggetti concepiti dalla mente, più conosciuti che visti, sormontando pertanto il flusso e la vaghezza delle mere apparenze» [M. Schapiro, *Einstein e il Cubismo: Scienza e Arte*, in M. Schapiro, *Tra Einstein e Picasso*, Christian Marinotti Edizioni, 2003, pp. 135-6].

Secondo Georges Braque (1882-1963), "I sensi deformano, la mente forma [...] non ci sono certezze eccetto quelle che la mente afferra". (*Case a L'Estaque*, 1908). I Cubisti hanno smesso di dipingere gli oggetti "come li vedevano" e hanno cominciato a dipingerli "come li conoscevano", scriveva nel 1913 il critico Maurice Reynal, che aggiungeva: "Questa è la legge che i Cubisti hanno ripreso, elaborato e codificato sotto il titolo di 'quarta dimensione'". Lo storico dell'arte Erwin Panofsky (1892-1968) ha identificato la 'quarta dimensione' dei Cubisti con il tempo. La prospettiva centrale è stata

«una concezione dello spazio che, nonostante tutti i mutamenti, sottende l'intera arte post-medievale fino, diciamo, alle *Demoiselles d'Avignon* di Picasso (1907), così come sottende tutta la fisica post-medievale fino alla teoria della relatività di Einstein (1905) [...] Solo con Picasso e i suoi seguaci, dichiarati o meno, è stata tentata l'apertura alla quarta dimensione temporale di modo che gli oggetti cessino

di essere determinabili con tre sole coordinate e possano presentarsi in un numero indefinito di aspetti e in tutti gli stati del loro 'divenire' o disintegrarsi» [E. Panowsky, *Early Netherlandish Paintings. Its Origins and Character*, 1953; cit. da M. Schapiro, *Einstein e il Cubismo*, pp. 82-3].

Ma Picasso e "i suoi seguaci", almeno fino a dopo la Prima Guerra Mondiale, quando il Cubismo è già finito, ignoravano la teoria di Einstein, ma facevano invece esplicito riferimento alle idee del filosofo francese Henri Bergson, in particolare alla sua idea del tempo psicologico come *durata*, che espose nel *Saggio sui dati immediati della conoscenza* (1889) e in *Materia e memoria* (1896).

Secondo il filosofo francese la fisica e la fisiologia, trattando il tempo e lo spazio allo stesso modo, e cioè riducendo il tempo psicologico a una mera successione ordinata di atti percettivi non coglievano gli aspetti più importanti della nostra sensazione interna del tempo. Il tempo della vita era invece, per Bergson, un fluire più complesso e non descrivibile da un serie ordinata di natura metrica, ma era qualitativo, eterogeneo, non misurabile. L'intervallo di questo tempo qualitativo è la *'durata'*, un intervallo psicologicamente variabile che è ritagliato dalla memoria. La memoria gioca un ruolo chiave come punto di congiunzione fra la fisiologia del cervello e la coscienza spirituale. Per Bergson ci sarebbero due tipi di memoria, il *'ricordo immagine'* e il *'ricordo puro'*. Il ricordo immagine è la memoria comunemente intesa, riconducibile all'attività fisiologica del cervello e composta dal flusso di stati psicologici distinti: di queste percezioni si occupa il fisiologo ed esse hanno una utilità pratica, servono per soddisfare i nostri bisogni vitali. Il secondo tipo di memoria, la memoria pura, la coscienza che non corrisponde ad alcun stato materiale del cervello, è la memoria spirituale di tutto il nostro passato ed è lei a delineare i confini degli intervalli della durata interiore. La visione di un oggetto è sempre interpretata dalla memoria pura e la stessa percezione sensibile è sempre riconoscimento e ricordo. Lo scrittore Marcel Proust (1871-1922), autore del grande romanzo della memoria, *Alla ricerca del tempo perduto*, era un cugino acquisito di Bergson. Per i Cubisti, la prospettiva lineare era associata al tempo fisico perché

«assumeva anche una corrispondenza biunivoca fra un 'istante' di tempo fittizio e la posizione dell'osservatore in un luogo fisso nello spazio. [...] questa associazione di un singolo istante di tempo con un singolo punto nello spazio venne rifiutata in nome della nozione di 'simultaneità', per la quale molti differenti momenti potevano essere ritratti nello stesso dipinto [...] I Cubisti giustificavano questa 'simultaneità' sulla base del concetto irrazionale del tempo o della 'durata' (*durée*), sviluppato dal filosofo Henri Bergson, e della nozione strettamente connessa del 'flusso di coscienza' (*stream of consciousness*), resa popolare dal pragmatista americano William James, con il quale aveva studiato la scrittrice Americana d'avanguardia Gertrude Stein (1874-1946). [...] Casa sua [della Stein a Parigi] divenne un importante luogo d'incontro per artisti e critici associati al movimento Cubista» [M. Antliff, P. Leighton, *Cubism and Culture*, Thames & Hudson, 2001, p. 71].

Il 'flusso di coscienza' dello psicologo e filosofo statunitense William James (1842-1910) è simile alla durata bergsoniana: nei suoi *Principi di Psicologia* (1890) egli sosteneva l'idea che concetti e immagini vengono fissate, nel flusso dinamico e continuo di dati sensoriali che è la nostra coscienza, dal meccanismo dell'"attenzione selettiva", che serve a fini pratici e utilitaristici. Al concetto del flusso di coscienza sono legate le opere di alcuni dei più importanti scrittori del periodo, dall'*Ulisse* di James Joyce (1882-1941), a *La coscienza di Zeno* di Italo Svevo (1861-1928), a *Gita al faro* di Virginia Woolf (1882-1941).

Non solamente la percezione del tempo entrava nella costruzione dell'unità dell'opera d'arte nella mente dell'osservatore, ma anche la percezione dello spazio. Il tema dello spazio entrava in quegli anni a rivoluzionare anche la scultura: lo spazio diventava esso stesso una forma, non era più il vuoto entro cui si trova la massa solida della scultura ma diventava parte della scultura stessa. La compenetrazione di forme concave e forme convesse, l'interruzione della massa

solida della scultura con lo spazio vuoto, venne suggerita a Alexander Archipenko (1867-1964) da un passo del libro *L'Evoluzione creatrice* di Bergson: "Se ci troviamo di fronte a un oggetto o a una circostanza inaspettate, affermava Bergson, il nostro intelletto tende a definire quella realtà in termini negativi, piuttosto che positivi. 'Se la realtà presente non è quella che ci attendevamo, noi parliamo dell'assenza della realtà attesa laddove noi troviamo la presenza di un'altra realtà'" [Antliff, Leighton, *Cubism and Culture*, p. 98]. I vuoti di Archipenko volevano rappresentare questa 'assenza', che deve essere riempita dalla nostra 'memoria pura'. Lo scultore Henri Laurens (1885-1954) scriveva che "gli spazi vuoti devono avere significato tanto quanto i volumi in una scultura. La scultura comporta innanzitutto e soprattutto prendere possesso di uno spazio, uno spazio delimitato da forme. Vi sono alcuni che fanno sculture senza un senso dello spazio".

Sappiamo come, per Poincaré, gli esseri umani costruirebbero lo spazio percettivo a partire dai movimenti con i quali "prendiamo possesso di uno spazio", per usare le parole di Laurens. I pittori cubisti, e teorici del movimento, Albert Gleizes (1881-1953) e Jean Metzinger (1883-1956), nel loro libro *Du Cubisme* (1912) sostenevano che quello che cercava di fare la 'visione simultanea' dei Cubisti fosse proprio catturare l'esperienza soggettiva dello spazio, rendere il "muoversi attorno a un oggetto così da registrare i suoi successivi aspetti che, combinandosi in un'unica immagine, lo ricostituiscono come tempo" [A. Gleizes, J. Metzinger, *Du Cubisme*, 1912, cit. da M. Schapiro, *Einstein e il Cubismo*, p. 83]. Era in questo contesto che si collocava

"il rigetto della prospettiva Rinascimentale in favore di 'visioni molteplici' che fossero espressione della risposta del cervello del pittore al suo spazio 'tattile' e 'motorio' così come a quello 'visivo'; e la combinazione in un singolo dipinto di immagini disparate, incluso immagini della 'memoria', provenienti anche da località geografiche diverse. [...] Lo spazio pittorico dei Cubisti non registrava solamente la loro risposta visiva a un dato oggetto, ma anche altre sensazioni soggettive, come il tatto e il movimento muscolare (vicino alle sensazioni propriocettive). Lo 'spazio motorio' è stato inteso come il movimento fisico dell'artista attorno a un oggetto per catturarne molteplici visioni, ma Gleizes e Metzinger non intendevano ridurre lo spazio Cubista a questa semplice formula, perché esso era anche il prodotto della memoria e dell'immaginazione oltre che dell'esperienza. La 'visione simultanea' in un dipinto Cubista poteva evocare una complessa serie di associazioni mentali fra sensazioni muscolari, tattili, o olfattive, presenti e passate, oltre che il movimento fisico dell'artista attorno a un soggetto" [Antliff, Leighton, *Cubism and Culture*, pp. 74-5; 79].

Il poeta Guillaume Apollinaire (1880-1918), nel suo libro *I pittori cubisti* (1913) scriveva:

"Fino ad ora le tre dimensioni euclidee bastavano alle inquietudini che il sentimento dell'infinito risveglia nell'animo dei grandi artisti. [...] Oggi i sapienti non si attengono più alle tre dimensioni della geometria euclidea. I pittori sono stati portati naturalmente e, per così dire, intuitivamente, a preoccuparsi di nuove misure possibili dello spazio che, nel linguaggio figurativo dei moderni, si indicano tutte insieme brevemente col termine di quarta dimensione. Così, come si offre allo spirito, dal punto di vista plastico, la quarta dimensione sarebbe generata dalle tre dimensioni conosciute: essa rappresenta l'immensità dello spazio, che si eterna in tutte le dimensioni in un momento determinato. È lo spazio stesso, la dimensione dell'infinito, e dà plasticità agli oggetti. [...] questa astrazione, 'la quarta dimensione', non è stata che la manifestazione delle aspirazioni, delle inquietudini d'un gran numero di giovani artisti, che s'interessarono alle sculture egiziane, negre e oceaniche, meditarono opere scientifiche, sperando in un'arte sublime; oggi non si dà più a questa espressione utopistica, che bisognava rilevare e spiegare, se non un interesse in certo modo storico" [cit. da De Micheli, *Le avanguardie artistiche del Novecento*, pp. 364-5; esiste una nuova traduzione italiana: G. Apollinaire, *I pittori cubisti. Meditazioni estetiche*, SE, Milano 1996].

Su queste “aspirazioni a un’arte sublime” già alla vigilia della Guerra ironizzava Marcel Duchamp (1887-1968) con opere come *Il Grande Vetro, o la sposa spogliata dai suoi pretendenti* (1915-1923), con la quale, secondo le sue parole, cercava di “dilatare leggermente le leggi della fisica e della chimica”, o come *3 stoppages Étalon* (1913-14), con la quale dava la sua rappresentazione della ‘rottura’ avvenuta con la geometria euclidea.

#### 4.6 Linee di forza e “linee-forza”

«Un altro tema dell’analogia istituita tra la pittura moderna e la teoria della relatività era stato il concetto di equivalenza e convertibilità tra la materia e l’energia. Nella riduzione delle forme solide degli oggetti a piani di colore, e nell’eliminazione del modellato mediante luci e ombre che generavano apparenze di volume e di profondità spaziale, sia Wassilij Kandinskij sia i suprematisti videro una somiglianza con la sostituzione, da parte dei fisici (e dei filosofi), della vecchia nozione di materia coi nuovi concetti [...] energia e campo» [Schapiro, *Einstein e il Cubismo*, p. 141].

Ma il concetto di campo elettromagnetico è molto precedente alla teoria della relatività, ed anche per quanto riguarda il concetto di energia, non vi è alcun bisogno di pensare all’equivalenza materia-energia stabilita dalla relatività ristretta per trovare un’influenza delle nuove idee scientifiche. In relazione al pensiero di Mach, abbiamo già menzionato in precedenza come l’energia fosse vista da scienziati come Wilhelm Ostwald come un nuovo concetto fondamentale in grado di porre la fisica e la chimica su basi nuove.

Nel 1887 il fisico tedesco Heinrich Hertz (1857-1894) aveva trasmesso per la prima volta onde elettromagnetiche con lunghezze d’onda molto più grande della luce rossa. Nel 1895 erano state scoperte onde elettromagnetiche di lunghezza molto più piccola della luce violetta: i raggi X. Nel giro di pochi anni lo studio delle radiazioni elettromagnetiche spalancava agli occhi della scienza, e del pubblico, un nuovo mondo, quello della fisica atomica. A cavallo del secolo venne scoperto il fenomeno della radioattività: si osservò come sostanze che contenevano uranio emettessero delle radiazioni capaci di impressionare una lastra fotografica, anche se coperta. Nel 1911 viene formulato il famoso modello dell’atomo come un ‘sistema solare’: attorno ad un nucleo molto piccolo rispetto al volume dell’atomo, e composto da particelle cariche positivamente, i protoni, ruotano in uno spazio vuoto gli elettroni carichi negativamente, in numero tale da compensare esattamente la carica positiva del nucleo.

Scriverà nel 1956 il pittore Fernand Léger (1881-1955): “Se l’espressione pittorica è cambiata, è che la vita moderna l’ha reso necessario. [...] L’uomo moderno registra impressioni cento volte di più dell’artista del XVIII secolo [...] La condensazione del quadro moderno, la sua varietà, la sua rottura delle forme è il risultato di tutto ciò.” Come sappiamo, era stato Michael Faraday a introdurre il concetto di un ‘campo di forze’, escogitando un modello visivo per rappresentare i campi elettromagnetici come aree dello spazio permeate da ‘*linee di forza*’ provenienti da corpi carichi elettricamente e magneti. Un modo per visualizzare concretamente le linee di forza è quello di appoggiare un foglio di carta rigido su una calamita e cospargerlo di limatura di ferro. Picchiettando leggermente il foglio, si osserva che la limatura si allinea in un elegante disegno di linee curve che seguono le linee di forza magnetiche. Analogamente, si può ripetere l’esperimento spargendo la limatura di ferro su un foglio attraversato da un filo percorso da corrente elettrica: in questo caso la limatura si dispone lungo cerchi concentrici attorno al filo.

Il concetto di *campo di forze* costituì una rivoluzione concettuale nel modo con cui la fisica teorica concepiva gli elementi fondamentali della realtà e questa rivoluzione è strettamente intrecciata con la coeva rivoluzione dei concetti di spazio e di tempo. Fu la teoria della relatività ristretta di Einstein che permise di abbandonare definitivamente l’idea che lo spazio fisico è vuoto, affermandosi come la teoria scientifica vincente contro la teoria di Ostwald: lo spazio è il *campo*, ‘pieno’ di materia-energia. “Per il fisico moderno, il campo elettromagnetico è altrettanto

reale, quanto la sedia su cui egli siede” [A. Einstein, L. Infeld, *L'evoluzione della fisica* (1938), Boringhieri, Torino 1974, p. 161]. L'equivalenza tra massa ed energia derivata nella teoria della relatività (la celebre formula  $E = mc^2$ : l'energia è eguale alla massa moltiplicata per il quadrato della velocità della luce) diede un contributo fondamentale per porre il concetto di campo al centro dell'immagine fisica del mondo.

«La teoria della relatività ci insegna infatti che la materia rappresenta grandi riserve di energia e che l'energia rappresenta materia. Non possiamo dunque procedere ad una distinzione qualitativa fra materia e campo, in quanto la distinzione fra massa ed energia non è di ordine qualitativo. Di gran lunga, la maggior parte dell'energia è concentrata nella materia; tuttavia il campo circondante la particella rappresenta anch'esso dell'energia, sebbene in misura incomparabilmente inferiore. Potremmo, perciò, dire: si ha materia ove la concentrazione dell'energia è grande; si ha campo ove la concentrazione dell'energia è debole. [...] Ciò che fa impressione sui nostri sensi come materia è in realtà una grande concentrazione di energia, in uno spazio relativamente limitato. Sembra quindi lecito di assimilare la materia a regioni spaziali, nelle quali il campo è estremamente forte. [...] Da tale punto di vista, un sasso lanciato in aria è un campo variabile nel quale gli stati di maggior intensità del campo attraversano lo spazio con la velocità del sasso stesso. Nella nuova fisica non vi sarebbe allora più posto per il binomio campo e materia; non rimarrebbe che una sola realtà: il campo” [Einstein, Infeld, *L'evoluzione della fisica*, p. 253].

La fisica del 900 ha aggiunto, al vecchio *campo elettromagnetico* percorso dalla *forza elettromagnetica*, il *campo gravitazionale*, percorso dalla *forza di gravità* e che governa i fenomeni su larga scala, e il *campo quantistico*, percorso dalle forze atomiche e che governa i fenomeni all'interno dell'atomo.

Nel 1909, lo scrittore Filippo Marinetti (1876-1944) proclamava che “Il Tempo e lo Spazio morirono ieri. Noi viviamo già nell'assoluto, poiché abbiamo già creato l'eterna velocità onnipresente”. È molto difficile che Marinetti fosse a conoscenza delle parole pronunciate dal matematico Hermann Minkovski (1864-1909) un anno prima in una conferenza a Zurigo nella quale presentava la sua formulazione della teoria della relatività ristretta: “D'ora in poi, lo spazio di per sé e il tempo di per sé sono destinati a svanire in mere ombre, e solo un tipo di unione dei due manterrà una realtà indipendente”. E se pure lo fosse stato, è probabile che queste parole non potessero essere per Marinetti più di una bella frase ad effetto. È piuttosto sullo sfondo del concetto del campo elettromagnetico che possiamo situare le idee di Marinetti e dei Futuristi.

«Lo spazio non esiste più; una strada bagnata dalla pioggia e illuminata da globi elettrici s'inabissa fino al centro della terra. Il sole dista da noi migliaia di chilometri, ma la casa che ci sta davanti non ci appare forse incastonata nel disco solare? Chi può credere ancora all'opacità dei nostri corpi, mentre la nostra acuita e moltiplicata sensibilità ci fa intuire le oscure manifestazioni dei fenomeni medianici? Perché si deve continuare a creare senza tener conto della nostra potenza visiva che può dare risultati analoghi a quelli dei raggi X? [...] Noi proclamiamo [...] che il moto e la luce distruggono la materialità dei corpi» [*La pittura futurista: Manifesto tecnico*, in De Micheli, *Le avanguardie artistiche del Novecento*, p. 382].

Umberto Boccioni (1882-1916), Carlo Carrà (1881-1966), Luigi Russolo (1885-1947), Giacomo Balla (1871-1958) e Gino Severini (1883-1966) proclamano al pubblico della *Prima Esposizione di Pittura Futurista*, a Roma nel 1913:

«Nel nostro manifesto [*La pittura futurista: Manifesto tecnico*, Milano 1910] abbiamo dichiarato che bisogna dare la sensazione dinamica, cioè il ritmo particolare di ogni oggetto, la sua tendenza, il suo movimento, o per dir meglio la sua forza interna. [...] Ogni oggetto rivela, per mezzo delle sue linee, come si

scomporrebbe secondo le tendenze delle sue forze. [...] Inoltre, ogni oggetto influenza l'oggetto vicino, non per riflessi di luce (fondamento del primitivismo impressionista) ma per una reale concorrenza di linee e delle reali battaglie di piani, secondo la legge di emozione che governa il quadro [...] Ecco perché, fra la rumorosa ilarità degli imbecilli, noi dicemmo:

‘Le sedici persone che avete intorno a voi in un tram che corre sono una, dieci, quattro, tre; stanno ferme e si muovono; vanno e vengono, rimbalzano sulla strada, divorate da una zona di sole, indi tornano a sedersi; simboli persistenti della vibrazione universale. [...] I nostri corpi entrano nei divani in cui ci sediamo e i divani entrano in noi così come il tram che passa entra nelle case, le quali alla loro volta si scaraventano sul tram e con esso si amalgamano. [...] tutti gli oggetti, secondo ciò che il pittore Boccioni chiama felicemente trascendentalismo fisico, tendono verso l'infinito mediante le loro linee-forze, delle quali la nostra intuizione misura la continuità. Noi dobbiamo disegnare queste linee-forze per ricondurre l'opera d'arte alla vera pittura. Noi interpretiamo la natura dando sulla tela queste linee come i principii o i prolungamenti dei ritmi che gli oggetti imprimono alla nostra sensibilità. [...] La pittura futurista contiene tre nuove concezioni della pittura:

1. Quella che risolve la questione dei volumi nel quadro, opponendosi alla liquefazione degli oggetti conseguenza fatale della visione impressionista.
2. Quella che ci porta a tradurre gli oggetti secondo le linee-forza che li caratterizzano, e mediante le quali si ottiene una potenza di poesia oggettiva assolutamente nuova.
3. Quella (conseguenza naturale delle altre due) che vuol dare l'ambiente emotivo del quadro, sintesi dei diversi ritmi astratti di ogni oggetto, da cui scaturisce una fonte di lirismo pittorico fino ad oggi ignorata”.

[*Gli espositori al pubblico*, il testo riprende con poche variazioni *Les exposants au public*, prefazione al catalogo della mostra *Les peintres futuristes*, Parigi 1912; cit. dal catalogo della mostra *Futurismo 1909-1944*, a cura di E. Crispolti, Mazzotta, 2001, pp. 536-7].

Come ha scritto lo storico dell'arte Martin Kemp, in Boccioni e negli altri futuristi “c'era poca diretta familiarità con le sottigliezze tecniche delle nuove scienze, ma piuttosto una traduzione intuitiva di ciò che veniva avvertito come il nocciolo dei nuovi sviluppi, attraverso la mediazione del filosofo Henri Bergson” [M. Kemp, *Visualizations. The Nature Book of Art and Science*, Oxford University Press, Oxford 2000, p. 99]. Ci sono senz'altro le idee sulla memoria di Bergson dietro affermazioni come: “Per far vivere lo spettatore al centro del quadro, secondo l'espressione del nostro manifesto, bisogna che il quadro sia la sintesi di quello che si ricorda e di quello che si vede” [*Gli espositori al pubblico*, in *Futurismo 1909-1944*, p. 536] e dietro la dichiarazione di Umberto Boccioni che “La scultura deve quindi far vivere gli oggetti rendendo sensibile, sistematico e plastico il loro prolungamento nello spazio L'impressione vivrà quindi nella durata attraverso la forma unica del suo svolgersi. Quindi l'impressione non è per noi l'esecuzione dell'oggetto arrestato alla sua riproduzione approssimativa [...] ma è l'oggetto dato nella sua complessità di sensazione (apparizione) e di costruzione (conoscenza).” [Boccioni, cit. da De Micheli, *Le avanguardie artistiche del Novecento*, pp. 254-5]. Dietro i tentativi di rappresentare il movimento ci sono anche le nuove tecniche fotografiche e cinematografiche, in particolare la cronofotografia del fisiologo Étienne Marey (1830-1904).

«Il gesto, per noi, non sarà più un momento fermato del dinamismo universale: sarà, decisamente, la sensazione dinamica eternata come tale. Tutto si muove, tutto corre, tutto volge rapido. Una figura non è mai stabile davanti a noi, ma appare e scompare incessantemente. Per la persistenza dell'immagine nella retina, le cose in movimento si moltiplicano, si deformano, susseguendosi, come

vibrazioni, nello spazio che percorrono. Così un cavallo in corsa non ha quattro gambe: ne ha venti, e i loro movimenti sono triangolari» [*La pittura futurista: Manifesto tecnico* (1910), cit. da De Micheli, *Le avanguardie artistiche del Novecento*, pp. 381-2].

#### 4.8 La 'globalizzazione' dello spazio e del tempo

In un articolo pubblicato nel 1898 su una rivista di filosofia, *La Revue de Métaphysique et de Morale*, con il titolo '*La misura del tempo*', Poincaré sosteneva che la simultaneità era una *convenzione*, un accordo fra le persone, un patto stipulato non perché fondato su una verità ultima, ma perché conveniente. Come tale, la simultaneità doveva essere *definita*, la qual cosa si poteva fare attraverso la lettura di orologi coordinati per mezzo dello scambio di segnali elettromagnetici (impulsi telegrafici o segnali luminosi), tenendo conto del tempo di trasmissione. Poincaré portava ad esempio il problema della misurazione delle longitudine.

«Quando marinai o geografi determinano la longitudine, essi devono risolvere proprio il problema della simultaneità: essi devono calcolare il tempo di Parigi senza essere a Parigi. Trovare la latitudine è semplice: Se la Stella Polare è proprio sulla vostra testa, siete al Polo Nord; se è a metà dell'orizzonte, siete alla latitudine di Bordeaux; se è sull'orizzonte, siete alla latitudine dell'Ecuador, sull'equatore. Non ha alcuna importanza a quale ora facciate delle misurazioni della latitudine - in qualsiasi posto la facciate l'angolo della Stella Polare è sempre lo stesso. Trovare la differenza di longitudine fra due punti è notoriamente più difficile, perché richiede che due osservatori distanti l'uno dall'altro facciano delle misurazioni astronomiche allo stesso tempo. Se la Terra non ruotasse, non ci sarebbe alcun problema: basterebbe che i due guardassero in su e controllassero quali stelle si trovano subito sotto la Stella Polare (ad esempio). Poi, guardando su una mappa stellare, potrebbero facilmente trovare le longitudini relative. Ma, naturalmente, la Terra gira, così per fissare accuratamente le differenze di longitudine dobbiamo esser certi che stiamo misurando la posizione delle stelle (o del Sole o dei pianeti) allo stesso tempo. Per esempio, supponiamo che un geografo che deve disegnare una mappa si trovi in Nord America e conosca che ora è a Parigi e sappia che nella località in cui si trova il Sole sorge esattamente sei ore dopo che nella *Ville Lumière*. Dato che la Terra impiega 24 ore per fare una rotazione completa, il nostro geografo allora sa che lui si trova lungo una linea di longitudine che è spostata a ovest di Parigi di una distanza pari a  $6/24$  (un quarto o equivalentemente  $90^\circ$ ) della circonferenza del mondo. Ma come fa l'esploratore a sapere che ora è a Parigi? Come Poincaré scrive nel suo articolo, il nostro potrebbe sapere il tempo di Parigi semplicemente portandosi appresso un cronometro di precisione che segna il tempo di Parigi. Ma il trasporto dei cronometri comporta dei problemi sia teorici che pratici.» [P. Galison, *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps. Empires of Time*, Norton, New York, 2003, pp. 32-35]

Se si voleva misurare il tempo con precisione, portarsi appresso un orologio con il tempo del punto di partenza non era affatto una soluzione, come si era scoperto nel corso dell'ottocento:

“Esploratori, geografi, marinai, si erano portati dietro orologi (cronometri) regolati sull'ora del loro porto di partenza. [...] Ma far sì che un orologio di precisione conservasse un ritmo regolare pur essendo sbalotato in una cabina di nave o sul dorso di un mulo non era mai stato facile. Aggiungeteci i cambiamenti di temperatura, di umidità, i guasti meccanici, e troverete che riuscire ad avere un preciso e regolare cronometro era uno dei più difficili problemi meccanici mai affrontati” [P. Galison, *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps*, cit., pp. 101-2].

Diversi tentativi erano stati fatti, trasportando da una sponda all'altra dell'Oceano Atlantico cronometri di precisione, ma i risultati erano stati frustranti:

«l'intervallo di tempo misurato viaggiando dagli Stati Uniti all'Inghilterra era inesorabilmente sempre diverso da quello misurato viaggiando dall'Inghilterra agli Stati Uniti. Qualcosa in alto mare confondeva gli orologi e gli astronomi sospettavano che il colpevole fossero le temperature più basse in altomare, che rallentavano gli orologi. [...] Incapaci di misurare il numero per loro più importante, la differenza di longitudine fra il Nord America e l'Europa, i disegnatori di carte geografiche erano nella disperazione. Per centinaia di anni, i cartografi avevano potuto solamente sognare di essere in grado di mandare un segnale simultaneo per fissare la longitudine. Il telegrafo risolse il problema» [P. Galison, *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps*, cit., pp. 102-3].

Nel corso della seconda metà dell'Ottocento, una rete di cavi telegrafici ricopre il globo e attraversa gli oceani. Nel 1858 avviene la prima trasmissione dall'Inghilterra agli Stati Uniti, nel 1866 comincia il servizio telegrafico regolare fra le due sponde dell'Atlantico. Poincaré conosceva bene il problema di cui stava parlando, perché era membro del *Bureau de Longitudes*, l'agenzia governativa francese incaricata di coordinare gli orologi tutt'intorno al mondo al fine di disegnare le carte più accurate possibili dell'impero coloniale francese.

«In quelle ultime decadi del XIX secolo, era soprattutto il bisogno di disegnare delle carte geografiche attendibili che spingeva verso lo stabilimento di convenzioni su scala planetaria. A fronte di un vertiginoso aumento nel volume del commercio internazionale, i naviganti erano sempre più frustrati da carte con griglie di coordinate geografiche diverse e spesso inattendibili, così come lo erano le autorità coloniali, che avevano aumentato la velocità con cui nuovi territori venivano annessi, nuove risorse naturali venivano messe a sfruttamento, nuove linee ferroviarie venivano costruite. Tutto ciò richiedeva carte geografiche precise e coerenti fra di loro. Tutte queste pressioni portarono alla conferenza, tenuta nel 1884 al Dipartimento di Stato Americano, nella quale ventidue paesi faticosamente raggiunsero l'accordo per fissare il meridiano di origine – il punto di longitudine zero – a Greenwich, in Inghilterra. [...] È in questo mondo di tempi misurati con precisione e di mappe geodesiche, in Europa, Africa, Asia, nelle Americhe, che dobbiamo situare la proposta filosofica fatta da Poincaré nel 1898 di trattare la simultaneità come una convenzione. Se la simultaneità poteva solamente essere stipulata come un accordo su come sincronizzare gli orologi, allora c'era già un felice precedente: sincronizzarli proprio come facevano via telegrafo i cacciatori di meridiani. Questa mossa – al tempo stesso una presa d'atto dei più aggiornati metodi cartografici e una presa di posizione filosofica sul tempo – è di straordinaria importanza. Non c'era più posto per il tempo assoluto, teologico, di Newton; al suo posto c'era una procedura. Il tempo misurato dagli ingegneri prendeva il posto del tempo assoluto di Dio» [P. Galison, *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps*, cit., pp. 43-44]

Anche il giovane impiegato dell'Ufficio Brevetti di Berna Albert Einstein non era all'oscuro dell'epocale processo di 'globalizzazione del tempo' che stava avvenendo in quegli anni.

“Determinare il tempo d'arrivo dei treni per mezzo di orologi coordinati elettromagneticamente era precisamente la questione pratica, tecnologica, che aveva interessato il Nord America e l'Europa negli ultimi trent'anni. [...] Il coordinamento dei tempi nell'Europa Centrale nel 1902-1905 non era un mero, e arcano, esperimento mentale; era piuttosto qualcosa che riguardava in maniera critica l'industria degli orologi, i militari, le ferrovie, e al tempo stesso era anche un simbolo dell'interconnesso, velocizzato, mondo della modernità. [...] Einstein portò all'interno dei principii della fisica la potente e altamente visibile nuova tecnologia che si materializzava intorno a lui: quella simultaneità fissata convenzionalmente

che sincronizzava le linee ferroviarie e stabiliva le zone orarie.” [P. Galison, *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps*, cit., pp. 255-56]

#### 4.9 Gli orologi di Einstein

Einstein descriveva nel 1905 la sua procedura per definire un 'evento simultaneo' per mezzo di un *esperimento mentale*. Ma questo esperimento mentale rifletteva ciò che stava avvenendo nella realtà: il 23 maggio 1910 il primo segnale radio veniva inviato dalla Torre Eiffel, diventata un gigantesco radio-orologio, dal quale gli impulsi dell'orologio-madre dell'Osservatorio astronomico di Parigi venivano inviati per sincronizzare gli orologi in tutto l'impero coloniale francese.

Noi costruiamo il concetto di 'evento' (del mondo esterno) a partire da una serie ordinata 'soggettiva' di percezioni e diamo un ordine 'oggettivo' a questi eventi nel modo seguente:

«Che cosa intendiamo per oggettivazione del concetto di tempo? Facciamo un esempio. Una persona A ('io') percepisce l'esperienza 'lampeggia'. Intanto la persona A sperimenta pure un comportamento della persona B tale da portare il comportamento di B in relazione con la propria esperienza 'lampeggia'. Ne risulta così che A collega con B l'esperienza 'lampeggia'. Nella persona A nasce l'idea che anche altre persone condividano l'esperienza 'lampeggia'. 'Lampeggia' non viene più interpretato ora come esperienza esclusivamente personale, ma come esperienza (o eventualmente soltanto 'esperienza personale') di altre persone. Sorge in tal modo l'idea di interpretare anche come un 'evento' (oggettivo) il 'lampeggia', che in origine aveva fatto il suo ingresso nella coscienza quale 'atto di sperimentare'. La somma totale di tutti gli eventi è proprio ciò che noi intendiamo quando parliamo del 'mondo reale esterno'. [...] A prima vista sembrerebbe ovvio supporre che esista un ordinamento temporale degli eventi, il quale concordi con l'ordinamento temporale delle esperienze» [A. Einstein, *La relatività e il problema dello spazio*, p. 298].

Il *coordinamento* della *serie ordinata* delle esperienze personali di ciascun osservatore preso singolarmente con la *serie ordinata* delle esperienze personali di *altri osservatori* porta 'ovviamente' tutti gli osservatori ad associare la serie ordinata delle proprie esperienze soggettive con una serie di eventi *oggettivi*, che accadono nel mondo esterno, anch'essa ordinata da una relazione 'prima-dopo': questa serie 'oggettivamente' ordinata sarebbe il tempo universale. Ma questo ordinamento degli eventi, così come lo spazio euclideo nel quale avvengono, è sempre una costruzione della mente umana.

Ma come può avvenire questo *coordinamento* delle esperienze soggettive? Il nostro concetto di tempo fisico venne rivoluzionato quando Einstein prese sul serio la domanda: *come misuriamo il tempo?* Come passiamo dall'ordinamento di percezioni soggettive che costituisce il tempo soggettivo del singolo osservatore all'ordinamento delle percezioni che costituisce il tempo oggettivo? Se ritorniamo all'analisi fatta sopra, ci rendiamo conto come, affinché la l'esperienza 'lampeggia' di A possa essere interpretata come la *stessa esperienza* 'lampeggia' di B, e quindi 'lampeggia' sia un evento oggettivo, è fondamentale che l'esperienza 'lampeggia' di A e l'esperienza 'lampeggia' di B accadano *simultaneamente*. Ma come possiamo stabilire la *simultaneità*?

Per prima cosa, è chiaro che questo coordinamento può avvenire solo attraverso la *sincronizzazione degli orologi locali di ciascun osservatore*, intendendo per 'orologio locale' *qualsiasi fenomeno naturale osservabile che accada con regolarità* (il movimento del Sole, della Luna e poi di altre stelle è stato il primo orologio dell'umanità). Si badi a una conseguenza fondamentale di questa procedura: possiamo scegliere indifferentemente l'orologio di A o quello di B come l'orologio-mastro senza che nulla cambi nella procedura, che è perfettamente simmetrica. Con questa procedura la simultaneità per tutti gli osservatori è indipendente dalla

particolare posizione nello spazio dell'orologio-mastro: tutti gli osservatori sono *equivalenti* perché *uno qualunque di loro può essere scelto come il mastro del tempo*, ovvero *non esiste un mastro del tempo privilegiato*, ovvero non esiste il tempo assoluto di Newton.

Ogni evento fisico è localizzato nello spazio e nel tempo da quattro coordinate, le tre dimensioni spaziali e la quarta dimensione del tempo, e si dunque si trova in un punto di un continuo spazio-temporale. Nella fisica di Newton esisteva *un* orologio universale al cui tempo battevano tutti gli orologi nell'Universo: perciò potevamo rappresentare la dimensione temporale come una sola retta: a qualsiasi punto di questa retta, cioè a un qualsiasi *istante di tempo*, corrispondeva una sezione spaziale tridimensionale dell'Universo che conteneva tutti gli eventi che accadevano in *quell'istante di tempo*, cioè tutti gli eventi simultanei, "*l'adesso*". E poiché per tutti gli osservatori nell'Universo scorreva lo stesso tempo, questo "adesso" era identico per tutti: tutti gli eventi che fossero stati simultanei per un osservatore lo sarebbero stati anche per ogni altro osservatore nell'Universo.

Ma sappiamo come un fatto fondamentale della nuova teoria del tempo, e dello spazio, è che *nel campo elettromagnetico non esiste un mastro del tempo privilegiato*: la *simultaneità* degli eventi fisici è definibile, e misurabile, facendo riferimento a un qualunque osservatore a piacere, cioè scegliendo un orologio di riferimento con il quale tutti gli altri sono sincronizzati. Una conseguenza di questo fatto è che l'insieme di tutti gli eventi che sono simultanei con un evento prescelto, cioè *l'adesso*, esiste solo in relazione a un particolare osservatore, a un particolare orologio, ma non più *indipendentemente* dalla scelta dell'orologio. Il continuo quadrimenzionale dello spazio e del tempo (le tre dimensioni spaziali più il tempo)

«non può più ora venire scisso oggettivamente in sezioni, le quali tutte contengono eventi simultanei; il termine 'adesso' perde per il mondo spazialmente esteso il suo significato oggettivo. [...] Poiché in questa struttura quadridimensionale non esiste più alcuna sezione che rappresenti oggettivamente l'adesso, i concetti di accadere e di divenire non risultano invero completamente eliminati, ma certamente complicati. Sembra perciò più naturale pensare alla realtà fisica come a un essere quadridimensionale, anziché, come finora si faceva, come al divenire di un essere tridimensionale.» [A. Einstein, *La relatività e il problema dello spazio*, cit., pp. 306-7].

La geometria di questo "essere quadridimensionale" sarà elaborata nel 1908 dal già menzionato Hermann Minkovski: in questa geometria, la geometria della cosiddetta *teoria della relatività ristretta*, non vi è alcuna differenza qualitativa fra le tre dimensioni spaziali e il tempo: il tempo è trattato esattamente come se fosse una quarta dimensione spaziale. Ma nel campo gravitazionale, cosa succede? Può esistere un osservatore privilegiato nel campo gravitazionale? Einstein intuisce nel 1907 che la risposta deve essere negativa anche in questo caso e comincia a lavorare a quella che diventerà la *teoria della relatività generale*, la teoria del campo gravitazionale. In questa teoria lo spazio-tempo non ha più un'esistenza autonoma indipendente dalla materia-energia:

«Secondo la teoria della relatività generale lo spazio non ha un'esistenza separata rispetto a 'ciò che riempie lo spazio' [...] Non esiste un qualcosa come uno spazio vuoto, ossia uno spazio senza campo. Lo spazio-tempo non pretende di avere un'esistenza per proprio conto, ma è soltanto una qualità strutturale del campo. [...] Non esiste spazio 'vuoto di campo'» [A. Einstein, *La relatività e il problema dello spazio*, cit., pp. 310-11].

#### **4.10 L'arte cinetica**

L'introduzione della dimensione temporale nell'opera d'arte è stato un tema che ha percorso tutto il Novecento. Negli anni Venti fu specialmente popolare nell'arte modernista. I pionieri dell'arte cinetica, come il russo Naum Gabo (1890-1977) e l'ungherese László-Moholy Nagy

(1895-1946), volevano far percepire concretamente la quarta dimensione temporale attraverso il movimento.

Ricordiamo come la misura del tempo altro non sia che un *movimento nello spazio*: la sabbia che cade nella clessidra, le lancette di un orologio a molla che si spostano sul quadrante. Fin dai primordi dell'umanità, il tempo è stato scandito dal movimento del sole e delle stelle. Nel 1920 Gabo e suo fratello, lo scultore Antoine Pevsner (1886-1962), scrivevano, nel *Manifesto realista*:

«Il futurismo non ha potuto che ripetere gli sforzi [...] di fissare sulla tela un riflesso puramente ottico. Sappiamo ormai tutti che una semplice registrazione grafica di una sequenza di movimenti momentaneamente fissati non può ricreare il movimento. [...] Lo slogan della velocità fu una tromba di guerra per i futuristi. [...] Ma provate a chiedere a un futurista come si immagina la 'velocità' e comparirà immediatamente un intero arsenale di pazzesche automobili e depositi di cigolanti vagoni e fili intricati, il chiasso e il rombo e il frastuono di strade pullulanti di veicoli [...] Guardate un raggio di sole, la più immobile tra le forze immobili. Ha una velocità di 300 Km il secondo. Osservate il nostro firmamento stellare, che il raggio attraversa [...] Che cosa sono i nostri depositi in confronto a quelli dell'universo? Che cosa sono i nostri treni terrestri in confronto a quei veloci treni delle galassie? [...] Noi diciamo: spazio e tempo sono per noi rinati. Spazio e tempo sono le uniche forme su cui la vita è costruita e su ciò deve quindi essere edificata l'arte. Periscono gli Stati, i sistemi politici ed economici, crollano le idee sotto la forza dei secoli, ma la vita è forte e cresce e il tempo prosegue nella sua continuità reale. [...] L'attuazione delle nostre percezioni del mondo sotto forma di spazio e tempo è l'unico fine della nostra arte plastica [...]

1. perciò nella pittura rinunciamo al colore in quanto [...] un accidente che non ha nulla in comune con l'essenza più intima dell'oggetto [...]
2. Rinunciamo alla linea in quanto [...] non è tutt'uno con la vita essenziale e con la struttura costante del corpo [...]
3. Rinunciamo al volume in quanto forma spaziale pittorica e plastica [...] Guardiamo lo spazio [...] Che cos'è se non una profondità continuata? Affermiamo il valore della profondità come unica forma spaziale pittorica e plastica [...]
4. Rinunciamo alla scultura in quanto massa [...] Perciò reintroduciamo nella scultura la linea come direzione e in questa affermiamo che la profondità è una forma spaziale [...]
5. Rinunciamo alla delusione artistica radicata da secoli secondo cui i ritmi statici sono gli unici elementi delle arti plastiche. Affermiamo che in queste queste arti vi è il nuovo elemento dei ritmi cinetici in quanto forme basilari della nostra percezione del tempo reale»

[cit. da De Micheli, *Le avanguardie artistiche del Novecento*, pp. 400-4].

La celebre *Scultura cinetica* (1919-20) di Gabo consisteva in una barra di metallo che veniva fatta oscillare da un motore creando un *pattern* di onde e un volume nello spazio. L'opera venne esposta a Berlino nel 1922 con una nota del catalogo: "Il tempo come nuovo elemento dell'arte plastica". Opere come questa, e come il *Modulatore luce-spazio* (1930) di Moholy-Nagy, che sono meccanismi che effettuano dei movimenti *regolari* e *periodici*, rappresentano il tempo come un "ritmo cinetico". Lazar El Lissitzkij (1890-1941) fece uso del vocabolario Suprematista abbandonando però, nel nuovo clima culturale della post-guerra, il misticismo di Malevič per rappresentare, con i suoi *Proun* (acronimo per "progetto per la nuova arte") tridimensionali, l'equivalenza relativistica fra energia e massa: "Delle forme fluttuanti in sospensione suggerivano il moto e una dimensione temporale [...] Con l'inclusione di illusioni ottiche (come la

striscia centrale verticale [...] che passa da piatta a cilindrica, l'artista sperava di abituare lo spettatore a sentirsi a suo agio in un nuovo universo che sfidava il senso comune" [Gamwell, *Exploring the Invisible*, p. 232].

Alexander Calder (1898-1976) imprime ai tentativi di rappresentare il movimento nelle arti visive una svolta significativa, accostandosi all'arte biomorfica. Mentre nei precedenti tentativi di arte cinetica il moto era derivato da marchingegni meccanici che si muovevano con moto regolare, i *Mobiles* di Calder si muovono in modo libero e imprevedibile, sospinti semplicemente dall'aria e non si riportano al tempo fisico, perché il loro moto non è né periodico né regolare.

Lo spazialismo di Lucio Fontana (1899-1968) è stato uno più significativi tentativi del Novecento di rappresentare tempo e spazio. Il *Manifesto Bianco*, pubblicato a Buenos Aires nel 1946, invocava un'arte ispirata alla nuova cosmologia. Riflettendo sulla serie dei *Buchi*, e successivamente dei *Tagli*, Fontana così commentava: "Feci dei buchi nella tela per suggerire l'espansione dello spazio cosmico che Einstein ha scoperto. La luce e l'infinito passano attraverso questi buchi, non c'è bisogno di dipingere" (C. Lonzi, *Autoritratto*, De Donato, 1969, pp. 169].

«La scoperta delle nuove forze fisiche, il controllo della materia e dello spazio hanno gradualmente imposto all'uomo delle condizioni mai prima esistite nella storia. [...] È necessario andare oltre la pittura, la scultura e la poesia [...] Noi concepiamo una sintesi come somma di elementi fisici: colore, suono, movimento, spazio, formando una unità ideale e materiale. Il colore, l'elemento spazio, il suono, l'elemento tempo e il movimento che si sviluppa nel tempo e nello spazio. Queste sono le forme basiche della nuova arte che comprende le quattro dimensioni dell'esistenza [...] Un nuovo genere di arte sta prendendo forma, e sono forme di luci nello spazio» [L. Fontana, *Manifesto Tecnico*, 1951].

Dopo il 1945 l'interesse per le nuove idee della fisica cedette il passo a tematiche ispirate invece alla filosofia esistenzialista e alla fenomenologia filosofica di Edmund Husserl (1859-1938) e Maurice Merleau-Ponty (1908-1961). Le parole di Willem de Kooning (1904-1997) sono piuttosto significative, a proposito di questo cambiamento di sensibilità:

«Questo famoso spazio fisico–lo spazio degli scienziati– ora ha finito proprio con l'annoiarci. Hanno lenti così spesse, questi scienziati, che lo spazio visto attraverso di esse diviene sempre più malinconico. Sembra proprio che non vi siano limiti allo squallore dello spazio fisico: non contiene altro che miliardi e miliardi di frammenti di materia, calda e fredda, che vagano nel buio, secondo un sistema grandioso, senza scopo. [...] Se stendo le braccia intorno e mi domando dove sono le mie dita–ecco, ho tracciato lo spazio che basta a un pittore [W. De Kooning, 1951, cit. da G. Dorfles, *Ultime tendenze nell'arte d'oggi*, Feltrinelli, Milano 2004, pp. 200-1].

Alla fenomenologia della percezione di Merleau-Ponty si è dichiaratamente ispirato anche Alberto Giacometti (1901-1966). Negli anni Sessanta l'arte cinetica di artisti come Victor Vasarely (1908-1997) e Jesús Rafael Soto (1923-2005), il Gruppo T in Italia (Giovanni Anceschi, De Vecchi e Boriani) e l'arte *optical*, come quella di Bridget Riley (n. 1931), si sono occupate della percezione dello spazio e del tempo.