

Più largo campo di filosofare: John Wheeler, il *Liber Naturae* e l'ingegneria

Stefano Furlan

... le Livre, persuadé qu'au fond il n'y en a qu'un,
tenté à son insu par quiconque a écrit...

Mallarmé

1. Introduzione

Le grandi celebrazioni galileiane nel settembre 1964, tra Pisa e Firenze, oltre a coinvolgere studiosi delle opere del grande pisano¹, videro la partecipazione, in un evento immediatamente successivo intitolato *Natural Philosophy To-day*, di alcuni fisici di primo piano che, in qualche modo, se ne riconoscevano eredi, da Murray Gell-Mann a Viki Weiskopf, da Richard Feynman a John Wheeler. Quest'ultimo (1911-2008) è oggi noto presso un ampio pubblico per aver battezzato qualcosa di esotico come i buchi neri e per le sue visionarie prospettive come *it from bit*; nondimeno, si tratta di una presentazione grossolana e quasi caricaturale, del tutto incapace di render conto del decisivo impatto sulla scienza del secolo scorso da parte di questa personalità, come specificheremo meglio nelle pagine che seguono. Risulta inoltre chiaro che gli argomenti di cui si occupavano figure come le suddette erano alquanto distanti da Galileo, sicché, a ragion veduta, si potrebbe pensare che la loro presenza alle celebrazioni fosse sì testimonianza di una tradizione nell'indagine della natura che, in qualche modo, riconosceva in se stessa una forma di continuità plurisecolare, ma, in termini di affermazioni contenutistiche, ci si può aspettare che non portassero molto

¹ Galileo nella storia e nella filosofia della scienza, Atti del simposio internazionale di storia, metodologia, logica e filosofia della scienza, Pisa-Firenze, 14-16 settembre 1964, Firenze, Barbera, 1967.

altro oltre alla retorica celebrativa o qualche commento sull'avvenire della fisica.

Se in una certa misura fu certo così, ciò che si intende suggerire in questo breve contributo è che invece l'esempio galileiano – al di là del generico appello al solito “metodo” – abbia delle risonanze non banali con alcuni aspetti del *modus operandi* adottato da Wheeler proprio in quegli anni. Come si può già evincere dal titolo che abbiamo scelto, con il rimando alle celebri parole di elogio, da parte di Galileo, per l'Arsenale di Venezia, è in particolar modo un senso pratico e ingegneristico, oltre che un dialogo con personalità più propriamente addentro ad alcuni settori dell'ingegneria, che in Wheeler si accompagna al teorico visionario, capace di offrire idee-guida a generazioni di allievi e collaboratori. In questa tensione o, se vogliamo, in questo delicato equilibrio, si cela probabilmente uno dei fattori della ripetuta fecondità dei suggerimenti wheeleriani e, pertanto, si tratta di una dimensione che merita un'attenzione non soltanto storico-celebrativa: in ambiti dove la speculazione fisica sembra oggi aver perso contatto con la dimensione sperimentale, anche il rischio di una riflessione filosofica eccessivamente “teoreticistica”, oltre che pomposamente astrusa ed epigonale, è assai concreto. Rendersi conto che uno dei principali ispiratori delle odierne indagini alle frontiere della fisica teorica – dalla gravità quantistica ai fondamenti della meccanica dei quanti e dei suoi legami con la teoria dell'informazione – mantenesse contatti vitali con un atteggiamento genuinamente *esplorativo* della sperimentazione (ossia non soltanto confinato alla verifica controllata di ipotesi²) ed enfatizzasse anche a livello teorico, senza falsi sensi di vergogna, il carattere euristico e *in fieri* delle sue speculazioni, intorno a questioni che non di rado sono ancora oggi aperte, può perciò risultare un utile correttivo; e, di riflesso, risulta omaggiare anche alcuni tratti dell'eredità galileiana.

² FRIEDRICH STEINLE, *Exploratory Experiments. Ampère, Faraday, and the Origins of Electrodynamics*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, 2016.

Come più estesamente articolato altrove³, le modalità con cui una componente ingegneristica si è spesso intrecciata con la spiccata *verve* speculativa di Wheeler si sono esplicitate principalmente su quelli che per semplicità possiamo considerare come due livelli distinti (sia pur non separati). Uno è la ricerca di meccanismi di visualizzazione e comprensione anche nelle questioni più remote e, direbbe il senso comune, astratte. L'altro è appunto il sapiente dosaggio di una teoremi audace, congiunta però all'avere il polso della situazione per quanto riguarda ciò che si può concretamente realizzare con la tecnologia a disposizione; punto, questo, che, come sarà meglio illustrato nel seguito, non va banalmente confuso con una mera attenzione alle conseguenze sperimentabili, in quanto coinvolse invece una sagace rifunzionalizzazione o *exaptation* di strumenti e risorse sviluppati in contesti più strettamente tecnici. Per mostrare questa vicinanza si prenderà in considerazione, in particolare, qualche tratto del complesso cammino euristico che, in una più che decennale avventura tra gli anni '50 e '60 (quando cadde anche il quattrocentesimo anniversario della nascita di Galileo), condusse Wheeler da oppositore dei primi pionieristici risultati sui buchi neri, ancora *ante litteram*, a loro entusiasta padrino; e in seguito, a come una serie di audaci speculazioni sia andata incontro ad una serie di metamorfosi che avrebbero condotto al celebre slogan *it from bit*. Mentre rinvieremo a recenti lavori di ricostruzione storico-epistemologica per maggiori dettagli tecnici, evidenzieremo nondimeno gli snodi essenziali e sottolineeremo come, tra gli esiti di quest'avventura intellettuale, ci sia anche una rivisitazione (sia pur non del tutto esplicitata) della celebre metafora del *Liber Naturae* e dei presupposti che via via essa è andata assumendo.

3 STEFANO FURLAN, *Aesthetics of Visionaries and Engineering: John Wheeler between Black Holes and It from Bit*, in «Physis», 59, 2024, pp. 209-240.

2. «If I can't make a picture, I don't understand»: Wheeler e la visualizzazione

In uno studio sulla visualizzazione scientifica, il noto storico K. Hentschel ha sostenuto di aver scovato un *pattern* grazie alla disamina di una varietà di scienziati di diverse discipline ed epoche: da Hooke a Wheeler, ciò che queste figure avrebbero in comune, a monte delle loro strategie di visualizzazione, sarebbe un *background* ingegneristico⁴, secondo anche quanto comunicato in un'occasione dall'autore stesso a chi scrive. Da una parte sarebbe facile obiettare che, in un'arcata temporale così ampia, il significato stesso di fisica e ingegneria è variato a tal punto da render alquanto discutibile un'asserzione di questo tipo. Dall'altra, nel caso di un fisico teorico come (e dei tempi di) Wheeler, si potrebbe far notare che, per inquadrare tendenze visualizzatrici, può esser sufficiente prender in considerazione il tipo di linguaggio matematico prediletto: in questo senso, la propensione a visualizzare da parte di un matematico o di un fisico si manifesta nella preferenza per un trattamento geometrico o topologico, di contro a gusti più algebrico-analitici. Entrambe queste obiezioni colgono punti importanti; nonostante ciò, nel caso di Wheeler si può effettivamente articolare meglio una tesi simile a quella di Hentschel.

La predilezione per la visualizzazione che sarà qui affrontata va intesa su vari piani. Uno, quello più ovvio e vicino a ciò che è suggerito da Hentschel, è l'impatto che studi ingegneristici ebbero sul *modus investigandi* di Wheeler. In secondo luogo, sottolineeremo come questa esperienza lo rese attento non soltanto alla collaborazione con valenti personaggi dal retroterra ingegneristico, ma anche alle potenzialità epistemiche che, in ambiti più teorici, strumentazioni e tecniche sviluppati dapprima a fini prettamente pratici potevano dischiudere: caso principe, come si avrà modo di dire, è stato il suo precoce e lungimirante riadattamento di strumenti informatici, originariamente con scopi militari, a questioni di astrofisica. Infine, o meglio in parallelo,

⁴ KLAUS HENTSCHEL, *Visual Cultures in Science and Technology: A Comparative History*, Oxford, Oxford University Press, 2014.

c'è un livello forse più elusivo ma non meno importante, che si traduce nel “fiuto” di Wheeler per affidare a studenti e collaboratori tematiche di ricerca in ultima analisi funzionali a questioni molto ambiziose e generali, ma anche formulabili in prima istanza come concreti problemi su cui lavorare con approssimazioni e poter costruire via via. Come dichiarò nella propria autobiografia⁵,

[f]orse perché sono cresciuto in un ambiente dove risolvere problemi e ottenere risultati (così come prestare servizio) erano le virtù rispettate, che comportavano che la mente facesse qualcosa, non solo sapesse qualcosa, nei primi tempi non distinguevo tra scienza e tecnica, tra matematica e strumentazione. Sebbene al college sia finito attratto dalla scienza e dalla matematica, non ho mai perso la mia fascinazione per la tecnica e gli strumenti.

E, non meno significativamente, in uno dei suoi quaderni di lavoro degli anni '50, oggi custoditi nei suoi archivi, annotò una volta in margine a considerazioni palesemente imperfette ed euristiche: «advant[age] of training in building things out of junk, not new lumber»⁶; al di là di espressioni che suonerebbero strane in una traduzione fuori contesto, si potrebbe anche dire: l'arte di sapersi arrangiare con quel che si ha.

Posto ciò, il modo più ovvio per asserire il primo dei suddetti livelli è semplicemente quello di andare a vedere il percorso di studi di Wheeler, dove si scopre che, effettivamente, nel 1927 si iscrisse alla Facoltà di ingegneria della Johns Hopkins University di Baltimora. Per usare le sue stesse parole⁷:

All'epoca ero tanto intrigato dai congegni meccanici quanto dalla teoria atomica. Avevo divorato libri su entrambi. L'ingegneria sembrava l'unica via

⁵ JOHN A. WHEELER, *Geons, Black Holes & Quantum Foam*, New York, W.W. Norton, 2000, p. 84.

⁶ *Relativity Notebook* 3, 1954, p. 63, in John A. Wheeler Papers, «American Philosophical Society Library», Philadelphia.

⁷ JOHN A. WHEELER, *Geons, Black Holes & Quantum Foam*, cit., p. 86.

per trasformare il mio interesse generale per la scienza e per la tecnica in un modo di guadagnarmi da vivere. Nei panni di un quindicenne impegnato a farsi la propria strada nel mondo, dire “fisica” sarebbe stato come dire “far ceramiche”.

È indubbio che la fisica, soprattutto nelle sue frange teoriche, avesse ancora, all'epoca, uno *status* istituzionale ben diverso da quello di tempi più recenti, ragion per cui giova evitare grossolane retroproiezioni. Tuttavia, non bisogna neppure, almeno in questo caso, cadere nell'estremo opposto e considerare quella scelta soltanto come un irrilevante periodo di transizione in cui Wheeler, fatta dapprima una concessione alle tendenze dello *Zeitgeist*, avrebbe poi trovato la propria autentica strada altrove.

Queste non sono considerazioni di ordine meramente psicologico, in quanto è possibile mostrare come gli interessi ingegneristici di Wheeler avessero radici più lontane e, ovviamente, permanessero in seguito nel suo lavoro militare e non solo. Semplicemente considerando la composizione della famiglia, si scopre come Wheeler avesse due zii, da parte di madre, che lavoravano nell'ingegneria mineraria, uno dei quali gli fece avere istruttive esperienze, nell'estate del 1928, presso le miniere d'argento a Zacatecas, in Messico. A ciò si aggiunga la passione di Wheeler, fin da fanciullo, per preparare e scatenare esplosioni: per quanto possa sembrare a prima vista una nota non priva di ironia, essa risulterà invece un filo conduttore nelle attività successive che saranno esaminate qui di seguito. Scavando ancora più indietro, è di nuovo Wheeler stesso⁸ a informare gli interessati dell'importanza che ebbe per lui, fin da bambino, un libro di congegni, munito di ricche illustrazioni che fecero presa sulla sua immaginazione e lo guidarono nelle sue prime sperimentazioni: *Mechanisms and Mechanical Movements* di Franklin Jones⁹. Questo può sembrare il solito luogo comune a

⁸ JOHN A. WHEELER, *Geons, Black Holes & Quantum Foam*, cit., p. 82; JEREMY BERNSTEIN, *Quantum Profiles*, Princeton, Princeton University Press, 1990.

⁹ È piuttosto interessante notare come questo aspetto sia stato enfatizzato anche da PETER GALISON, *Structure of Crystal, Bucket of Dust*, in Apostolos Doxiadis, Barry

buon mercato, sentito *ad nauseam* in particolare nelle biografie di fisici d'oltreoceano, ma è interessante notare, agli scopi delle presenti considerazioni sulla visualizzazione, come Wheeler stesso ritenesse necessario, in retrospettiva, integrare e aggiungere altro a quelle esperienze. Aggiunta, si potrebbe dire qui, che si può riferire anche alla tesi di Hentschel, che in realtà lo riconosce parzialmente¹⁰. Come Wheeler dichiarò in un'intervista a Kenneth W. Ford¹¹:

F: John, una caratteristica delle tue più tarde ricerche era la magnifica abilità di disegnare figure, farne quasi una forma d'arte per trasmettere informazioni. Tale caratteristica era presente anche nei tuoi primi lavori?

W: Be', sicuramente oggi ho la sensazione di non capire quello di cui parlo, se non riesco a renderlo in un'immagine. Ma a proposito del fare disegni: ebbi la grande fortuna di seguire un corso di disegno tecnico nel mio percorso

Mazur (eds.) *Circles Disturbed: The Interplay of Mathematics and Narrative*, Princeton, Princeton University Press, 2012, pp. 52-78. Senz'altro condivisibile è l'atteggiamento di fondo, efficacemente sintetizzato nella seguente frase: «Wheeler was, quintessentially, the scientist who insistently cycled philosophical questions of meaning through the technical work. This is a mathematics set deep in the hewn-out limestone caves, far below the luminous forms of Plato's heaven» (ivi, p. 58). Tuttavia, la tesi sostenuta risulta in parte compromessa da alcune non secondarie inesattezze storiche nello sviluppo del pensiero di Wheeler (per quanto vada riconosciuto che seri lavori di ricostruzione non erano ancora in atto una decina di anni fa) e da alcuni suggerimenti fuorvianti circa l'importanza di certe idee o proposte. In particolare, questa sorta di "meccanizzazione" del modo wheeleriano di concepire la matematica funziona piuttosto bene allorché si parla degli strumenti del calcolo differenziale o di altre nozioni già sistematizzate e del loro insegnamento, mentre non pare adeguata a cogliere il carattere evocativo-visionario delle più audaci proposte euristiche di Wheeler (STEFANO FURLAN, *The Smile of Mnemosyne: John Wheeler between the History of Science and Arts*, in «Scientia», 3, 2024, pp. 41-75), tant'è che in una fase di svolta della sua carriera egli giunse persino a negare che occorresse pensare in termini di una sorta di meccanismo centrale del mondo (ALEXANDER S. BLUM, STEFANO FURLAN, *How John Wheeler Lost His Faith in the Law*, in Yemima Ben-Menahem (ed.), *Rethinking the Concept of Laws of Nature: Natural Order in the Light of Contemporary Science*, Berlin, Springer, pp. 283-322).

¹⁰ KLAUS HENTSCHEL, *Visual Cultures*, cit., p. 111.

¹¹ Intervista a John Wheeler di Kenneth W. Ford, 3 gennaio 1994, <<https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/5908-3>>.

di studi ingegneristici. Quella, tuttavia, non è esattamente la sede per creare immagini. Ricordo poi che al sabato mattina venivo mandato alla galleria d'arte in Youngstown, Ohio per un corso di pittura e disegno, e fu divertente. Mi sarebbe piaciuto portarlo avanti. E poi nell'anno trascorso a Parigi, il 1949, prendevo lezioni da un artista francese, ma non si trattava di esprimere idee in immagini: semplicemente, facevamo disegni.

Del resto, anche la menzione del libro di Jones è subito affiancata¹² da un altro titolo, *Introduction to Science*, del naturalista Arthur Thomson. Questo procedere su doppi binari, per così dire, si può riscontrare anche in seguito, in particolare se si cerca di gettare un colpo d'occhio sull'intera arcata delle attività di Wheeler. Dopo che iniziò appieno a dedicarsi alla fisica, la prima parte della sua lunga carriera, all'incirca fino all'inizio degli anni '50, si svolse in ambito principalmente nucleare, con il quale aggettivo s'intendono però ambiti molto più vasti e di frontiera, ovviamente, di quanto il termine possa evocare oggi. Quel che interessa ricordare è come Freeman Dyson, amico di lunga data di Wheeler, parlasse una volta¹³ di due diversi aspetti di quest'ultimo, manifestatisi (anche) come stili di scrittura: c'è il Wheeler prosaico, artigiano, abile *problem solver*, e c'è il Wheeler poetico, visionario spregiudicato ed eterodosso. Per esemplificare il primo, Dyson menziona la famosa collaborazione del giovane Wheeler, negli anni '30, con Niels Bohr, con cui ottenne cruciali risultati sulla fissione. È proprio grazie alla compresenza di quelle due anime in Wheeler che si è potuto avere, come si sostiene qui, quel felice connubio tra audace speculazione e solide basi, il che trova riscontro anche nella metodologia euristica di Wheeler, chiamata con un ossimoro significativo *daring conservatism*: portare alle estreme conseguenze leggi fisiche ben consolidate prima di introdurre, se proprio inevitabile, qualcosa di nuovo¹⁴.

¹² JOHN A. WHEELER, *Geons, Black Holes & Quantum Foam*, cit., p. 82.

¹³ FREEMAN DYSON, *Birds and Frogs: Selected Papers, 1990-2014*, Singapore, World Scientific Publishing, 2015, pp. 140-141.

¹⁴ Per le sue varie declinazioni, si veda STEFANO FURLAN, *Pursuitworthiness between Daring Conservatism and Procrastination: Wheeler and the Path Towards Black Holes*, in

In quanto detto pare però già esserci, tra le righe, un ulteriore punto che non va trascurato, ossia una sorta di tensione tra la vena visualizzatrice di Wheeler e l'estrema cautela, nella meccanica quantistica versione Copenaghen, dell'uso di immagini e concetti classici e intuitivi (*anschaulich*), svianti e inadeguati ad affrontare il mondo della microfisica così distante dalla nostra esperienza quotidiana. Tale tensione, di fatto, svanisce facilmente se da un lato non si casca nella faciloneria superstiziosa che ritiene che le formule della fisica rivelino direttamente, *sic et simpliciter*, com'è la "realtà", e dall'altro si raffina leggermente la nozione di immagine. Avvalersi infatti di strumenti visivi per maneggiare una teoria o risolvere problemi non comporta necessariamente che tali strumenti siano una copia mimetica di una sorta di realtà là fuori: si tratta piuttosto di strategie efficaci e utili a conseguire una comprensione più profonda delle questioni in esame¹⁵. Una considerazione, questa, di semplice buonsenso, non sempre presente tra chi parla di questi argomenti, e che si accompagna nel recente volume appena citato a un'enfasi sulla necessità di acquisire delle abilità (forse qui l'inglese *skills*, malgrado l'abuso del termine, circoscrive meglio il significato) per padroneggiare e adoperare tali tecniche di visualizzazione. In effetti, quando Wheeler o chi altri trattava il nucleo atomico secondo il modello "a goccia", per esempio, stava ricorrendo a un'immagine evocativa, un'analogia che metteva in risalto certi tratti e via discorrendo, ma che senz'altro era anche una dichiarata approssimazione. In altri termini, nel trattare problemi ed equazioni pertinenti occorre tanto competenza tecnica, un'idea degli andamenti in vari regimi o in situazioni analoghe, quanto consapevolezza e sagacità nel fare approssimazioni, che siano utili nelle circostanze specifiche e che, trascurando certi aspetti, non sacrificino troppi dettagli rilevanti e risultino vantaggiose da adoperare affinché vi sia un guadagno di comprensione. Quand'anche gli strumenti di visualizzazione diventino standardizzati e di largo uso (l'esempio ovvio per questi ambiti

«Studies in History and Philosophy of Science», 96, 2022, pp. 174-185.

15 Come sottolineato anche da HENK DE REGT, *Understanding Scientific Understanding*, Oxford, Oxford University Press, 2020.

è costituito dai diagrammi di Feynman), essi richiedono nondimeno pratica e addestramento per imparare ad avvalersene: in tutti questi sensi, di fatto, occorre acquisire *skills* per avvalersi della visualizzazione, che non sempre è qualcosa di scontato che emerge da una teoria, soprattutto in aree dove ogni senso ingenuo di visualizzazione si rivela inadeguato. I vari tratti ingegneristici su indicati possono essere annoverati tra le competenze ed esperienze acquisite da parte di Wheeler, in seguito funzionali al suo ricorrere a immagini, o se non altro all'aspirare ad averne.

Com'è facile anticipare da quanto finora già detto, i primi risultati di spicco di Wheeler, come quelli sulla fissione, si rivelarono di notevole importanza, durante il secondo conflitto mondiale, nelle applicazioni militari la cui possibilità la recente fisica nucleare aveva appunto dischiuso. Tuttavia, se nel caso di Tomonaga, Schwinger o Feynman, ossia i principali futuri artefici (assieme al già menzionato Dyson) dell'elettrodinamica quantistica, l'esperienza pratica e ingegneristica che ebbero in quel periodo li familiarizzò con tecniche matematiche che si sarebbero poi rivelate di cruciale importanza per la teoria¹⁶, nel caso di Wheeler non è facile mettere il dito su qualcosa di specifico che gli risultasse determinante in seguito, in parte anche perché il suo impegno militare non fu limitato a quel periodo eccezionale, a differenza delle altre figure menzionate, ma proseguì intensamente negli anni successivi, date le sue convinzioni sulla minaccia sovietica e la necessità di sviluppare bombe a idrogeno. È però nel contesto di tali occupazioni che Wheeler ebbe modo di fare esperienze – con il che s'intendono anche semplici associazioni intuitive, come si vedrà tra poco – e di entrare in contatto con personaggi con un piede nell'ingegneria e uno nella fisica, i quali si sarebbero rivelati di grande importanza nelle sue successive ricerche in un ambito apparentemente più distante, ossia quello della relatività generale, che Wheeler considerava l'eredità principale dell'altra grande figura che, assieme a

¹⁶ SILVAN S. SCHWEBER, *QED and the Men Who Made It*, Princeton, Princeton University Press, 1994; ADRIAN WÜTHRICH, *The Exigencies of War and the Stink of a Theoretical Problem*, in «Perspectives on Science», 26, 4, 2018, pp. 501-520.

Bohr, fu per lui come un mentore: Albert Einstein, ovviamente. Anche il modo in cui trattò (e, con grande impatto, insegnò) la relatività generale, che ribattezzò “geometrodinamica”, aveva, come si evince dal nome, una fortissima enfasi sulla dimensione geometrica della teoria, che altri invece avrebbero considerato secondaria o persino sviante¹⁷. Lo scopo più ambizioso di Wheeler, anzi, era quello di derivare, anche in risposta alla confusione derivante dalla scoperta di nuove particelle (l’esplosione del *particle zoo*), tutte le specie elementari di queste ultime a partire dalla pura geometria della relatività generale, munita però di fluttuazioni quantistiche dello spazio stesso a distanze prossime alla lunghezza di Planck: un’altra delle celebri idee di Wheeler, la *quantum foam*. Anche questo visionario tentativo pangeometrico, mantenuto se non altro come idea regolativa ultima, ha palesamente un’enfasi visiva, quantomeno a livello evocativo¹⁸.

In un’altra intervista¹⁹, Wheeler racconta di come avvenne questo suo riorientamento di interessi, che lo avrebbe portato, nel corso del ventennio 1952-1972 circa, a diventare una delle principali autorità nel campo della fisica della gravitazione e dell’immagine che essa offre dell’universo:

Ricordo che stavo tornando su un aereo dal primo test della bomba a idrogeno nel Pacifico, a Eniwetok. E poi arrivai a Honolulu, rimasi lì qualche ora, e in quel momento arrivò un’onda anomala – che nulla aveva a che fare con la bomba a idrogeno, ma con il grande terremoto in Kamchatka. Ma ho pensato a quanto piccoli siano gli sforzi dell’uomo. Anche la più grande esplosione che gli Stati Uniti abbiano mai prodotto, di cui il mio gruppo a Princeton ha fatto

¹⁷ Questa, com’è noto, era la posizione di Weinberg, autore del libro di testo “rivale” di *Gravitation* di Misner, Thorne e Wheeler. Si veda DAVID I. KAISER, *A psi is just a psi? Pedagogy, Practice, and the Reconstitution of General Relativity, 1942-1975*, in «Studies in History and Philosophy of Modern Physics», 29, 1998, pp. 321-338.

¹⁸ STEFANO FURLAN, ROCCO GAUDENZI, *The Earth Vibrates with Analogies: The Dirac Sea and the Geology of the Vacuum*, in «Studies in History and Philosophy of Science», 93, 2022, pp.163-174; STEFANO FURLAN, *The Smile of Mnemosyne*, cit.

¹⁹ JIRI BICAK, *The Art of Science: Interview with Professor John Archibald Wheeler*, in «General Relativity and Gravitation», 41, 4, 2009, pp. 679-689: 681.

il lavoro di progettazione – lavorando per e con Los Alamos – anche quella massima esplosione era mille volte più piccola, in termini energetici, di un uragano, mille volte più piccola di un terremoto. E poi non ho potuto fare a meno di pensare al Big Bang e all'espansione dell'universo, tanto più grande, e mentre si vola sulle infinite distanze dell'Oceano Pacifico, sospesi tra il cielo di sopra e l'oceano di sotto, si sente di essere da qualche parte nello spazio tra le stelle, un po' come la posizione dell'uomo nell'universo, e ci si rende conto di quali grandi misteri ci circondano. Uno si chiede come si possa arrivare al cuore di questo mistero dell'universo. E io non ho mai visto una questione più centrale del collasso gravitazionale per arrivare al cuore di questo mistero.

Ora, rispetto a quanto verificatosi in seguito, si tratta in parte di una semplificazione e di un'anticipazione: altrove²⁰ è stata ricostruita, molto più dettagliatamente, la storia delle già menzionate resistenze di Wheeler ai primi risultati sui buchi neri, ottenuti subito prima della guerra da Oppenheimer e collaboratori. In ogni caso, non c'è ragione di dubitare di come le esplosioni offrissero a Wheeler simile materia di riflessione: tra il serio e il faceto, Tullio Regge, che proprio su questi nuovi argomenti general-relativistici avrebbe presto collaborato con Wheeler, pone la passione, se non l'ossessione, di quest'ultimo per le esplosioni come la “causa” della sua partecipazione ai progetti Manhattan e Matterhorn²¹.

Non meno inaspettatamente del tipo di riflessioni sopra citate, si può aggiungere che un modello di universo chiuso e ciclico, che va cioè incontro a espansioni e contrazioni come consentito, a certe condizioni, dalla relatività generale, rappresentò fino agli anni '70 un'idea guida per Wheeler, resa concreta (anzi, si dica pure concretamente visiva) da alcune fotografie di esplosioni subacquee, da lui viste durante un periodo di consulenza per la compagnia Convair, dove si vagliava tra le altre cose un progetto per sottomarini alimentati a energia nucleare²². Si tratta di ambiti che non hanno evidente connessione tra loro, per

²⁰ STEFANO FURLAN, *Pursuitworthiness*, cit.

²¹ TULLIO REGGE, *L'infinito cercare*, Torino, Einaudi, 2012, p. 37.

²² ALEXANDER S. BLUM, STEFANO FURLAN, *How John Wheeler Lost His Faith in the Law*, cit., p. 302.

usare un eufemismo, ma questo è in fin dei conti il potere che analogie e ispirazioni varie possono esercitare nell'euristica di personaggi versatili e creativi come Wheeler. A parte queste ultimissime considerazioni in parte laterali, è interessante evidenziare alcuni aspetti della lunga lotta di Wheeler con le sfide concettuali che gli ancora non battezzati "buchi neri" ponevano ai fisici degli anni '50: questo sarà l'oggetto della prossima sezione.

3. La lunga strada verso i buchi neri

A riprova di come le varie esperienze di Wheeler non venissero da lui accantonate, ma restassero a far parte del suo repertorio anche a seguito della sua immersione in nuovi ambiti, è importante precisare fin da subito che la questione dei buchi neri non venne da lui affrontata, come si potrebbe ingenuamente pensare retroproiettando l'odierno insegnamento standard con soluzione di Schwarzschild e via dicendo, come una questione per così dire geometrica. Il suo retroterra di fisico nucleare, oltre che il confronto con i risultati di Oppenheimer-Volkoff e di Oppenheimer-Snyder, lo portò a impostare la questione innanzitutto in termini di destino della materia che, durante il collasso gravitazionale, viene compressa oltre una certa soglia²³. In altri termini, di contro alle paradossali e difficilmente visualizzabili – per non dire in un certo senso inconcepibili – conclusioni che erano state raggiunte a fine anni '30 da Oppenheimer e collaboratori, con un collasso "senza fine" e masse che si isolavano dal resto dell'universo pur continuando ad avere un effetto gravitazionale, Wheeler cercò di impostare e visualizzare il problema in termini di un sistema a molti nucleoni. Negli atti dell'undicesima conferenza Solvay del '58 a Bruxelles, durante la quale Wheeler si oppose alle preliminari indagini di Oppenheimer, si trova un particolare *Gedankenexperiment*. Non è questa la sede per trattarlo nei suoi dettagli tecnici, per i quali abbiamo già indicato il riferimento bibliografico: quel che interessa qui è la forma del ragionamento.

²³ Ivi, pp. 286-292.

Wheeler si domanda cosa possa accadere se, a una stella, nel seguito semplicemente modellizzata come una sfera, che abbia raggiunto la massa critica discussa nel suo contributo, si aggiunga un'altra piccola massa. Nei suoi quaderni di lavoro si può vedere come, negli anni immediatamente precedenti, Wheeler abbia lottato con questo problema e considerato varie opzioni; tra queste, l'eventualità che la massa aggiunta non vada ad affastellarsi a quella della stella, ma venga radiata via. A questo punto²⁴,

Se il limite $M = M_{\text{crit}}$ potesse essere raggiunto, si potrebbe avere in linea di principio una macchina ideale capace di produrre materia senza alcun costo energetico, come segue. Un grammo di materia aggiunto alla sfera perderà la sua intera massa, che verrà emanata sotto forma di radiazione. Un grammo di antimateria aggiunto ad una simile ma distante sfera di antimateria, che abbia raggiunto il limite critico, perderà la sua intera massa sotto forma di radiazione. L'energia di radiazione da entrambe le sorgenti può allora essere catturata e usata per creare, nello spazio vuoto lontano dalle sfere, un altro grammo di materia, e un altro di antimateria, da lasciar cadere a loro volta sulle due sfere in modo da continuare ad alimentare il processo.

Al di là della fisica coinvolta, che in ogni caso andò in seguito incontro a grosse revisioni, l'aspetto curioso che qui si vuol sottolineare è come, in mezzo a quelle eteree speculazioni, Wheeler escogitasse in linea di principio e introducesse all'improvviso una "macchina" collegante la stella di materia ordinaria e l'analoga stella di antimateria, o meglio: *argomentasse* con una macchina siffatta, in una maniera non troppo differente da quella in cui ci si avvale, in meccanica classica, di situazioni che permetterebbero macchine generatrici di un *perpetuum mobile* e si arriva così a una sorta di *reductio ad absurdum*, come analizzato nel celebre lavoro di Mach sulla *Meccanica nel suo sviluppo storico-critico*²⁵. Quella immaginata da Wheeler (e, a proposito di ipo-

²⁴ *La structure et l'évolution de l'universe*, Onzième Conseil de Physique, Brussels, Stoop, 1958, p. 129.

²⁵ ERNST MACH, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*, Leipzig, F.A. Brockhaus, 1883.

tetiche macchine e buchi neri, in seguito sarà suo il conio del termine “ergosfera”), però, è una significativa variante, in quanto non si tratta di un macchinario da *perpetuum mobile*, quanto di uno capace di creare materia *ad libitum* senza costi energetici.

A prescindere da questo esperimento mentale, e per quanto le aspettative e i *desiderata* di Wheeler si sarebbero poi rivelati erronei, tale modo di impostare il problema ebbe grandi e importanti meriti. Innanzitutto, in questo modo questioni di fisica nucleare venivano profondamente intrecciate alla relatività generale, che, dopo i primi spettacolari successi che l'avevano consacrata, era rimasta in una sorta di isolamento dagli sviluppi della fisica, come una teoria elegante e stupenda ma slegata da altri settori, lasciata più ai matematici che ai fisici impegnati a esplorare i regimi quantistici. Così Wheeler portò nuovi problemi all'interno della relatività generale, problemi su cui era possibile concretamente lavorare, e non mancò di coinvolgere presto studenti e collaboratori, secondo il suo tipico modo di concepire e praticare la scienza in modo conviviale. Wheeler fece esplorare numericamente a Masami Wakano, grazie al computer voluto da von Neumann a Princeton, l'equazione di stato che riteneva dovesse regolare la materia stellare nelle fasi estreme del collasso; questi risultati, ai quali va aggiunto il nome di B. Kent Harrison, furono presentati da Wheeler stesso alla già menzionata conferenza Solvay²⁶. Non diversamente da figure come Fermi e ovviamente von Neumann, Wheeler si era presto reso conto delle potenzialità dei calcolatori ben al di là del loro impiego militare: quello appena citato è soltanto un precoce esempio di una pratica che, nei decenni seguenti, avrebbe sempre incentivato, fino a sviluppare negli anni '80 audaci idee persino sul cambiamento epistemologico segnato dai computer per l'attività scientifica, per la visualizzazione e per il significato stesso della ricerca delle leggi fisiche, come meglio spiegheremo in seguito²⁷.

²⁶ *La structure et l'évolution de l'universe*, cit.

²⁷ JOHN A. WHEELER, *On Recognizing «Law Without Law»*, in «American Journal of Physics», 51, 1983, pp. 398-404.

Inoltre, tornando agli anni '50, dato che il processo fisico al centro dell'attenzione di Wheeler era il collasso stellare, legato anche alle esplosioni di supernovae, ci si rese presto conto, tanto nel mondo occidentale quanto in quello sovietico, che gli strumenti informatici sviluppati nel contesto dei rispettivi progetti per bombe H si prestavano a una piuttosto agevole rifunzionalizzazione per capire appunto tali fasi violente dell'evoluzione stellare. Figura importante per Wheeler e non solo, ma che, in parte per il carattere *classified* del suo lavoro, non ha ancora ricevuto degna attenzione da parte degli storici, risultò Stirling Colgate, che dopo studi elettrotecnici e nucleari intercalati da esperienze su navi mercantili, incontrò Wheeler nel contesto del progetto Matterhorn e, sul finire degli anni '50, decise di riadattare quanto da lui sviluppato applicandolo non a bombe ma a *supernovae*²⁸. Avendo come base il laboratorio di Livermore, munito di un potente calcolatore, Colgate fu presto affiancato da alcuni collaboratori come Richard White, che nel corso di pochi anni giunsero non soltanto a importanti risultati sulle supernovae e sulle susseguenti fasi stellari, ma anche, a metà anni '60, alla simulazione della formazione di un buco nero. Al di là del dovere di cronaca, quanto ottenuto da Colgate e collaboratori fu uno dei fattori cruciali che, tra il 1961 e il 1962, portarono Wheeler ad abbandonare le sue precedenti resistenze concettuali nei confronti dei buchi neri²⁹. L'altro fattore cruciale, a ulteriore riprova dell'importanza per lui rivestita dalla visualizzazione, fu una più profonda comprensione geometrica delle soluzioni della relatività generale e lo sviluppo di un utile tipo di rappresentazioni, dette *embedding diagrams*, a seguito dei risultati ottenuti da David L. Beckedorff, studente di un altro stretto collaboratore di Wheeler, Charles W. Misner. Questo, comunque, mostra come vari progressi venissero fatti nella cerchia stessa di Wheeler: non un caso, ma merito anche di chi aveva impostato quelle direzioni di ricerca e quei problemi, *sapendoli collegare ad altri*. Convintosi ancor più dell'importanza di investire decisamente sull'argomento, a quel punto Wheeler non esitò a portare *from coast to coast*, da Princeton alla

²⁸ ARTHUR I. MILLER, *Empire of the Stars*, New York, Houghton Mifflin, 2005.

²⁹ STEFANO FURLAN, *Pursuitworthiness*, cit.

California, parte della propria cerchia, affinché chi lavorava a Livermore potesse venire istruito e aiutato a implementare nei programmi una più adeguata trattazione general-relativistica³⁰.

4. Il *Liber Naturae* e la fine della geometrodinamica

Avendo così tratteggiato per sommi capi uno dei filoni principali – se non il principale – delle ricerche di Wheeler nel ventennio dedicato alla geometrodinamica, possiamo meglio tematizzare le risonanze con il galileiano *Liber Naturae* scritto in caratteri geometrici e, in seguito, la metamorfosi di questa metafora. In un certo senso, alla luce di quanto si è detto a proposito del tipo di visualizzazione auspicato da Wheeler e delle sue ambizioni pangeometriche, è facile suggerire che la *summa* di questi anni di indagini, il celebre libro di testo *Gravitation*³¹, rappresenti in qualche modo una versione aggiornata, nel linguaggio della geometria differenziale e della relatività generale, del *liber* galileiano. Anche ad una breve scorsa, d'altronde, è facile rendersi conto di come

³⁰ C'è un altro episodio, in quegli anni, di cui vale la pena se non altro far cenno, in quanto mostra di nuovo l'intreccio tra le esplorazioni di frontiera di Wheeler e la collaborazione con figure di stampo maggiormente ingegneristico: è il caso delle onde gravitazionali. Persuaso della loro esistenza, Wheeler spinse Joseph ("Joe") Weber, che aveva alle spalle studi appunto di ingegneria e un'esperienza nella marina, a imbarcarsi nella loro ricerca. Weber, come noto, ideò rivelatori che diedero dei segnali che lo convinsero di aver trovato qualcosa, sebbene la rilevazione apparisse agli occhi di molti controversa; si trattava, d'altronde, di anni in cui la stessa possibilità delle onde gravitazionali non era terreno di universale accordo. Weber non demorse e perseverò a lungo, in una sorta di amarezza che forse solo la recente conferma, nel 2015, delle onde gravitazionali avrebbe potuto in parte alleviare, ma Weber si era ormai spento da tempo. Wheeler, a sua volta, non cambiò di certo idea e continuò a incoraggiarlo; anzi, nella propria autobiografia, avrebbe in seguito confessato: «I sometimes ask myself whether I imbued in Weber too great an enthusiasm for such a monumentally difficult task» (JOHN A. WHEELER, *Geons, Black Holes & Quantum Foam*, cit., p. 258).

³¹ CHARLES W. MISNER, KIP S. THORNE, JOHN A. WHEELER, *Gravitation*, San Francisco, W.H. Freeman, 1973.

non si tratti di un libro di testo qualsiasi, per vari aspetti. Innanzitutto, è palpabile l'intento di creare una sorta di oggetto di culto, o forse meglio – per evitare fraintendimenti – di raccogliere quasi in maniera talismanica una serie di suggestioni visive e citazionali dall'intera storia della fisica, dando vita ad un prodotto con uno stile unico e facilmente riconoscibile. Fin dal design piuttosto elegante della copertina, con l'iconica mela newtoniana alla quale si sovrappongono le geodetiche einsteiniane, si nota una cura di questi aspetti, con un esito accattivante, come del resto confermato dai documenti intorno alle discussioni tra autori ed editore riportate da David Kaiser nella prefazione all'ultima riedizione di pochi anni fa (e anche questa durata è qualcosa di inusuale, in tempi recenti, per tale genere di lavori)³². Queste impressioni sono poi confermate e anzi incrementate dal ricco apparato visivo – non meramente illustrativo, come abbiamo già commentato –, nonché dalle varie citazioni d'autore e dalle parti audacemente speculative in puro stile wheeleriano, come l'enigmatico ultimo capitolo. Tra i riferimenti, non manca ovviamente il passo galileiano dal *Saggiatore* sul libro della natura in caratteri geometrici³³.

Sarebbe tuttavia piuttosto generico limitarsi a suggerire che l'interesse e il coinvolgimento di Wheeler nelle celebrazioni galileiane si limitasse alla maturazione di questa visione di fondo. Anzi, non risulta neppure che ne abbia fatto esplicito cenno nel settembre 1964. La cautela di questo “non risulta” è d'obbligo, in quanto la sua partecipazione alla sessione *Natural Philosophy To-day*, che abbiamo menzionato in principio, avvenne in qualità di *discussant* e non di vero e proprio *speaker*. Tuttavia, se andiamo a vedere i quaderni inediti di Wheeler di quel periodo³⁴, possiamo vedere come avesse iniziato a riflettere per tempo, a seguito dell'invito di Gilberto Bernardini, su cosa dire, quali nessi sottolineare tra la ricerca attuale e i tempi andati, che narrazione

³² CHARLES W. MISNER, KIP S. THORNE, JOHN A. WHEELER, *Gravitation*, con prefazione di David I. Kaiser, Princeton, Princeton University Press, 2017.

³³ Ivi, p. 304.

³⁴ *Relativity Notebook 13*, 1964, pp. 23-ss., in John A. Wheeler Papers, American Philosophical Society Library, Philadelphia.

storica costruire. Si tratta di una caratteristica tipica di Wheeler e del suo peculiare modo di rapportarsi alla storia: questa, lungi dal ridursi ad un polveroso archivio con qualche informazione utile al più a scopi monumentali, era per lui un territorio di esplorazione alla ricerca di idee e analogie con un potenziale ancora in parte inespresso, o comunque in grado di suggerirgli, sia pur trasfigurate, nuovi modi di pensare alle questioni che stava affrontando³⁵. Gli anniversari non incarnavano dunque una mera retorica d'occasione per incensare genericamente i progressi della scienza, ma rappresentavano un'opportunità per approfondire e riflettere attivamente sulla figura che veniva ricordata, sulla distanza che da essa separava, sui mutamenti profondi di lunga durata, e così via. Tutto ciò non veniva ovviamente condotto da Wheeler con una puntigliosa analisi storico-filologica, ma piuttosto secondo quella modalità analogico-creativa, sempre originale e talvolta persino bizzarra, che lo contraddistingueva³⁶, e che andava ad alimentare la costruzione di grandiose narrative a supporto delle sue stesse ricerche più ambiziose. Veniva così a crearsi un singolare impasto di retorica, euristica e storia che non rimaneva ad un livello meramente comunicativo, ma s'intrecciava a fondo con le attività scientifiche di Wheeler. Nel caso di Galileo, possiamo notare per esempio rimandi ai test sperimentali della relatività generale messi a punto in quegli anni da Robert Dicke, collega di Wheeler a Princeton, inquadrati nella storia di lungo corso intorno alla relazione tra massa inerziale e massa gravitazionale, o più in generale della comprensione della gravità; ma possiamo anche notare – il che è forse più interessante, se opportunamente letto – una sorta di bozza narrativa che mette in fila Dante, Giotto e appunto Galileo. Si tratta semplicemente dei nomi che un fisico americano, interpellato per l'occasione, associava alla Toscana di secoli addietro? Forse, ma non è difficile notare in questa “rappresentanza” gli elementi peculiari del suddetto impasto retorico-euristico di Wheeler stesso: il potere evocativo della parola e della metafora, il ruolo del disegno e delle immagini, e l'indagine della natura secondo le “sensate esperienze e

³⁵ STEFANO FURLAN, *The Smile of Mnemosyne*, cit.

³⁶ STEFANO FURLAN, ROCCO GAUDENZI, *The Earth Vibrates with Analogies*, cit.

necessarie dimostrazioni". Al di là del punto specifico, quest'esempio ci autorizza in qualche modo a guardare con largo respiro alle risonanze galileiane avvertite da Wheeler, come abbiamo già fatto, e perciò a suggerire anche un altro aspetto meritevole di attenzione.

Per scopi di semplicità ed esposizione, oltre che per via del focus individuale, ci siamo finora limitati a illustrare la "conversione" di Wheeler a inizio anni '50, dando a intendere – come per certi versi indiscutibilmente fu – che si trattasse di una scelta piuttosto coraggiosa da parte di una figura versatile e che avrebbe attraversato altri campi ancora, in una traiettoria pressoché unica. Nondimeno, stemperando un poco le sue idiosincrasie geometrodinamiche, è possibile contestualizzare le sue attività di quel periodo e degli anni '60 in un quadro più ampio, che tiene conto di altre poliedriche personalità che, in particolare dal dopoguerra in poi, iniziarono a riflettere sulle implicazioni astrofisiche o su grande scala dei principi ormai piuttosto consolidati della nuova fisica. Un passaggio piuttosto "spontaneo", per esempio, era considerare i raggi cosmici, non come studio fine a se stesso, ovviamente, ma per avvalersene nella comprensione della struttura fondamentale della materia. Wheeler stesso passò per questa fase nella seconda metà degli anni '40, favorendo la creazione di un laboratorio di raggi cosmici, e in fin dei conti lo stesso Gilberto Bernardini che nel '64 lo avrebbe invitato operava in questi ambiti. Un analogo discorso si può fare per lo sviluppo delle nuove astronomie – *in primis* radio, X, gamma – che si svilupparono tra quel periodo e gli anni '60. Non è secondario rendersi conto che non si trattava semplicemente dell'apertura di nuovi "canali" che avrebbero offerto informazioni in più: grazie ad essi ci fu un vero e proprio sconvolgimento dell'immagine dell'universo basata sull'astronomia ottica e di posizione. Si è parlato a tal proposito della scoperta dell'"universo violento"³⁷, in cui le vaste distese cosmiche non apparivano più vuote e inerti, ma fenomeni che coinvolgevano energie e scale di grandezza inimmaginabili sulla Terra risultavano responsabili del-

37 LUISA BONOLIS, STEFANO FURLAN, *Unveiling the Violent Universe (1950-1970), Part 1. New Cosmic Messengers, New Astronomies: Building a Transdisciplinary Research Culture*, in «The European Physical Journal History», 50, 2025, 15.

le più recenti osservazioni, non più limitate all'emissione termica, e nuove famiglie di entità "esotiche" – stelle di neutroni, quasar, pulsar, buchi neri – abitavano le profondità siderali e oltre. Non era dunque una fase di semplice accrescimento di informazioni astrofisiche, ma uno stravolgimento di assunti anteriori e il momento per tentativi di esplorazione dell'autenticamente ignoto.

Se per certi versi ciò rappresentava il superamento di una modalità di indagine – l'astronomia ottica – che simbolicamente si poteva far risalire a Galileo e al suo cannocchiale (riportato all'inizio del succitato *Relativity Notebook* 13 di Wheeler, accanto ovviamente alla Torre di Pisa), tuttavia le nuove sfide vennero affrontate con uno spirito che si potrebbe non a torto definire galileiano. Se da una parte le comunità astronomiche più "convenzionali" e tradizionali esprimevano scetticismo, chiusura o disinteresse nei confronti delle prospettive teoriche suggerite dalla fisica recente, dall'altra, per merito di figure versatili che avevano orizzonti teorici più ampi, padroneggiavano ambiti più "fondamentali" e, alla luce di questi, provavano a individuare e ricostruire meccanismi capaci di spiegare le nuove osservazioni, iniziò quella spettacolare confluenza di teoria e osservazione (come la nascita dell'astrofisica relativistica, solitamente datata al primo Texas Symposium del '63) e, quindi, dei diversi canali osservativi, che è andata avanti fino ad oggi. Che si tratti dei meccanismi di accelerazione proposti da Fermi piuttosto che di quello della radiazione di sincrotrone, o del ruolo del collasso gravitazionale nel mettere a disposizione le enormi energie rilasciate da quasar, in ciascuno di questi casi possiamo riscontrare personalità che avevano un *background* nucleare in senso lato come Wheeler – per esempio Fowler, Hoyle, Zel'dovich – e che, anziché postulare *sic et simpliciter* nuove entità o tipi di segnali, provavano a costruire e identificare i processi alla base di quei fenomeni partendo da principi fisici ben consolidati, in modo piuttosto simile al *daring conservatism*. Prima di invocare il bisogno di una fisica differente da quella "sublunare", provarono con successo ad applicare quest'ultima per iniziare a render unitariamente conto della nuova immagine dell'universo che si stava svelando. Non solo: i parallelismi piuttosto impressionanti, nel corso degli anni '60, tra Wheeler e Zel'dovich – il

suo omologo sovietico nella costruzione di bombe H e poi come leader di uno dei principali gruppi della neonata astrofisica relativistica – sono soltanto uno degli esempi di come questi progressi astrofisici si siano profondamente intrecciati agli sviluppi tecnologici e militari della Guerra Fredda³⁸: le nuove possibilità aperte da strumenti informatici, dalla corsa allo spazio e dai satelliti (con la possibilità di avere rivelatori al di sopra dell'atmosfera), così come dalla comprensione di certi meccanismi di esplosione, mostrano bene come il “largo campo di filosofare” risultò fecondo per i teorici che seppero mantenere aperto il dialogo su quei fronti applicativi e riadattarne gli strumenti a scopi di indagini più “pura”. Tale è dunque il contesto in cui dobbiamo immaginare Wheeler, nel '64, mentre riflette e prende note su Galileo, al contempo intento a perseguire ad un livello più fondamentale la propria visione pangeometrica.

Tuttavia, fu proprio l'indagine delle implicazioni ultime dell’“universo violento”, che trovava la sua più spettacolare manifestazione nei buchi neri, ad allontanare momentaneamente Wheeler dai presupposti di un qualsiasi *Liber Naturae* che fosse dato una volta per tutte e scritto geometricamente. Da un lato, la geometrodinamica, almeno nei suoi risvolti più ambiziosi, aveva iniziato a ristagnare nella seconda metà degli anni '60³⁹: derivare particelle dalla pura geometria presentava difficoltà per ora insormontabili, né si riusciva ad esprimere con il linguaggio della geometria differenziale quelle transizioni di fase nella topologia stessa dello spazio che Wheeler concepiva come l'incessante ribollire della sua *quantum foam*. Dall'altro, le indagini del suo gruppo sui buchi neri avevano mostrato come leggi fisiche quali la conservazione del numero barionico e del numero leptonico sembravano, in quel contesto, perdere di senso: non perché “violate”, ma perché, data l'impossibilità – detto semplicemente – di distinguere se la materia che ha varcato l'orizzonte degli eventi di un buco nero fosse costituita da

³⁸ STEFANO FURLAN, LUISA BONOLIS, *Unveiling the Violent Universe (1950-1970), Part 2. The Rise of Relativistic Astrophysics and the New Astronomies in the Soviet World*, in «The European Physical Journal History», 50, 2025, 16.

³⁹ ALEXANDER S. BLUM, STEFANO FURLAN, *How John Wheeler Lost His Faith in the Law*, cit.

barioni o da leptoni, le corrispondenti leggi di conservazioni vengono «transcended»⁴⁰. Il *daring conservatism*, spingendo alle estreme conseguenze le leggi fisiche, sembrava così, nel buco nero, togliersi il terreno da sotto i piedi. A quel punto Wheeler accettò che la visione che aveva perseguito necessitava di idee nuove e più profonde: iniziò così la sua ricerca di una «pregeometry», da cui lo spaziotempo della fisica familiare potesse emergere. Si convinse inoltre che l'atteggiamento «naturalistico» che fino ad allora aveva mantenuto, dando per buono che vi fosse un cosmo dato che obbedisse a leggi immutabili e del quale si cercava di individuare il «meccanismo centrale», andava messo in dubbio. Le leggi fisiche non erano più garanti eterne di un ordine metafisico; l'osservatore non era più espunto dall'immagine del mondo e concepito come uno spettatore dietro ad un vetro che non interferisce. «There may be no such thing as the “glittering central mechanism of the universe” to be seen behind a glass wall at the end of the trail»⁴¹. Tradotto in altri termini metaforici, forse non c'è un libro fondamentale con i segreti della natura scritti geometricamente, anzi non c'è un libro dato *sic et simpliciter*.

Possiamo riscontrare una qualche ironia storica nel fatto che, mentre usciva quella che abbiamo chiamato una versione aggiornata del *Liber Naturae* galileiano, Wheeler stesse provando a scardinare le fondamenta della stessa metafora. Il mondo non sarebbe finito racchiuso in un libro, come vagheggiato da Mallarmé – e, come quest'ultimo avrebbe sfidato le convenzioni della scrittura e anzi della stessa pagina scritta con il suo *Coup de dés*, così l'ultima fase di Wheeler avrebbe messo radicalmente in dubbio molti consolidati modi di pensare intorno alla natura e alla sua leggibilità⁴².

⁴⁰ JOHN A. WHEELER, *From Relativity to Mutability*, in Jagdish Mehra (ed.) *The Physicist's Conception of Nature*, Dordrecht, Springer, pp. 202-247.

⁴¹ Ivi, p. 203.

⁴² Il rimando di rito, quando si parla di leggibilità del mondo, è ovviamente a HANS BLUMENBERG, *Die Lesbarkeit der Welt*, Frankfurt am Main, Suhrkamp, 1979. Ma, al di là di citazioni di comodo, forse non è vano sottolineare, a differenza di quanto solitamente avviene, che questo testo non è semplicemente la storia o l'analisi di una metafora, ma, come si può facilmente evincere leggendone l'introduzione, un'indagine su illusioni perdute, a seguito di una delusione: cosa ci aspettavamo e

5. Monadi, computer e leggibilità del mondo

In questa fase a inizio anni '70, il delicato equilibrio tra speculazione e senso pratico di cui abbiamo parlato sembra sbilanciarsi a favore della prima. Rifacendosi alle posizioni epistemologiche di Bohr, ma ontologizzandole in maniera non proprio raffinata, Wheeler inizia ad esplorare un nuovo ordine di idee che lascia basiti vari ascoltatori⁴³. L'osservatore partecipante assume persino un ruolo cosmogonico; le riflessioni sui valori delle costanti fondamentali e le precondizioni per la vita, sollevate dal già menzionato Dicke e da Brandon Carter, a sua volta in contatto con Wheeler, danno a tutto ciò una forte tinta "antropica"⁴⁴. Per Wheeler è un periodo di svolta su molteplici piani: a livello di cosmologia, passa dalla sua visione ciclica anteriore a questo paradossale loop di un universo che dà necessariamente vita ad un osservatore che, guardando distante nello spazio cioè indietro nel tempo, imprime a sua volta il sigillo dell'essere sull'universo stesso. A livello di programma di ricerca in fisica, la rinnovata meditazione su Bohr e la ricerca di una pregeometria riorienta i suoi interessi verso i fondamenti della meccanica quantistica. A livello epistemologico-filosofico, passa gradualmente da una visione naturalistico-dogmatica a – *cum grano salis* – una "critica", ossia con particolare attenzione alle precondizioni della conoscenza, alla preparazione degli esperimenti e annesse scelte, e così via. Già verso fine anni '70, la "deriva" speculativa inizia ad apparire più sobria (per quanto questo aggettivo si possa applicare alle idee di Wheeler), complice il suo trasferimento in Texas, dopo il suo ritiro da Princeton nel '76. Un ruolo chiave è sicuramente giocato dal nuovo *milieu* che trova e contribuisce a creare lì, con un modo di investigare i fondamenti della fisica dei quanti più attento (rispetto all'osservato-

speravamo di conoscere? In *questo* senso, l'accostamento a questo preciso periodo di Wheeler può risultare suggestivo e non triviale.

43 JOHN A. WHEELER, *The Universe as Home for Man*, in Owen Gingerich (ed.), *The Nature of Scientific Discovery*, Washington, Smithsonian Institution Press, 1975, pp. 261-296. Dopo l'intervento di Wheeler sono riportate anche alcune reazioni dei partecipanti.

44 ALEXANDER S. BLUM, STEFANO FURLAN, *How John Wheeler Lost His Faith in the Law*, cit.

re cosmogonico!) al ruolo degli apparati di misura e a nozioni legate all'“informazione”. Pure in questo caso, inoltre, possiamo sottolineare, alla luce degli archivi, l'importanza dei suoi contatti con personalità dai tratti ingegneristici e di ampio respiro, quali John R. Pierce (anche nel contesto del Battelle Memorial Institute, focalizzato su scienza applicata e tecnologia), John W. Tukey (al quale spesso si ascrive il termine *bit*) e teorici dell'IBM come Charles H. Bennett e Rolf Landauer, che non si limitavano a considerare l'“informazione” in astratto, ma in riferimento a specifici canali fisici con annesse limitazioni.

Non è questa la sede per chiarire la genesi del celebre slogan *it from bit*, ma, alla luce di quanto specificato, possiamo se non altro dissipare alcuni frequenti equivoci che lo circondano⁴⁵. Innanzitutto, proprio per via del suo peculiare percorso e dell'interesse per lavori “concreti” come quelli appena menzionati, Wheeler *non* si limita affatto a reificare, semplicemente “importandola” per così dire, la teoria dell'informazione di Shannon, come potrebbe sembrare da certo *folklore*; anzi, se c'è un'assenza che spicca dai numerosi e quanto mai variegati rimandi bibliografici degli articoli di Wheeler in quegli anni, è proprio quella di Shannon, sebbene allievi o collaboratori ne avessero fatto o ne facesse uso. Ciò si ricollega al fatto che per Wheeler il *bit* non è meramente un'unità formale d'informazione, in qualche modo oggettivamente “dato”, ma è l'esito di un processo – di un «act of observer-participancy»⁴⁶. In altri termini, l'osservatore partecipante, che intorno alla metà degli anni '70 aveva palesi connotazioni antropomorfiche, viene via via pragmaticamente⁴⁷ “decoscienzializzato” da Wheeler, riconoscendo che il suo ruolo, nel processo di misurazione quantistica, può essere

⁴⁵ STEFANO FURLAN, *Aesthetics of Visionaries and Engineering*, cit.

⁴⁶ «We have to move the imposing structure of science over onto the foundation of elementary acts of observer-participancy» (JOHN A. WHEELER, WOJCIECH H. ZUREK, *Quantum Theory and Measurement*, Princeton, Princeton University Press, 1983, p. 210).

⁴⁷ Sia nel senso colloquiale del termine (a livello pragmatico, per trattare quei processi fisici) sia in quello filosofico (Peirce, William James, Royce vengono qua e là citati da Wheeler con interesse). Un qualche lavoro in un futuro prossimo sarà dedicato a questo tema.

svolto da un generico apparato di registrazione. E tuttavia, il loop reciprocamente costitutivo tra universo e osservatore partecipante, che Wheeler riteneva di aver individuato ad un livello più profondo delle apparenze *naturalisticamente date*, non venne abbandonato: arrivò anzi a formulare una propria “monadologia”, proprio ad indicare il rifiuto di una visione dell’universo dove si trovano “blocchetti” o particelle fondamentali e a sottolineare invece il ruolo di centri di rappresentazione (le monadi, appunto) o, se non altro, di registrazione nei processi costitutivi del tutto⁴⁸. Il più semplice atto di misurazione quantistica è quello in cui la risposta del sistema ha due possibilità, come “up” e “down” oppure “0” e “1”: ecco dunque il “bit” di Wheeler che, sebbene si possa trattare formalmente come una banale (e certo problematica) ipostatizzazione o reificazione del *bit* della teoria matematica dell’informazione, va inteso come l’esito di un processo fisico fondamentale innescato da un “osservatore” in senso lato (non a caso, una volta allontanate le sfumature antropomorfiche, o coscienzialiste alla maniera del suo amico Wigner⁴⁹, Wheeler promosse in Texas, nel suo circolo, lo sviluppo di idee che portarono alla decoerenza quantistica, in cui il “collasso” delle potenzialità non è dovuto all’intervento di un osservatore, ma dal contesto fisico con cui un sistema interagisce⁵⁰). «The building element is the elementary “yes, no” quantum phenomenon. It is an abstract entity. It is not localized in space and time. Its interior is inscrutable, untouchable. The combinatorics of such entities is a new and rich problem»⁵¹. La combinatoria di un numero enorme di questi processi quantistici darebbe quindi luogo alle “cose” come le co-

⁴⁸ STEFANO FURLAN, *Merging Labyrinths: Leibniz in J.A. Wheeler’s Quest*, in «Studia Leibnitiana», 52, 2020, pp. 123-155.

⁴⁹ JOHN A. WHEELER, *Not Consciousness but the Distinction between the Probe and the Probed as Central to the Elemental Quantum Act of Observation*, in R.G. Jahn (ed.), *The Role of Consciousness in the Physical World*, Boulder, Westview Press, 1981, pp. 87-111.

⁵⁰ STEFANO FURLAN, *Merging Labyrinths*, cit.

⁵¹ JOHN A. WHEELER, *The Computer and the Universe*, in «International Journal of Theoretical Physics», 21, 1982, pp. 557-572:570.

nosciamo, all'it – o, almeno, questa è la nuova visione guida che viene proposta.

Wheeler non stava pensando soltanto ad un cambiamento concettuale, ma anche ad un nuovo modo di indagare la natura grazie al computer: le leggi fisiche, perso il loro status metafisico, risultano regolarità statistiche che si *riconoscono visivamente* su uno schermo grazie alla simulazione di un gran numero di eventi⁵². La leggibilità del mondo pare così in qualche modo recuperata, e anzi espressa metaforicamente attraverso un nuovo *medium*. Quel che è interessante notare, però, alla luce delle specificazioni che abbiamo fatto, è che *non* si tratta, per così dire, della versione ebook del *Liber Naturae*, scritto in una stringa di *bits*, come potrebbero suggerire versioni “naturalisticamente ingenuie” dell'*it from bit* o dell'universo come computer. Wheeler non ha semplicemente cambiato l'ingrediente basilare nella piramide della fisica, ma ha scardinato lo schema di fondo, ha provato a mutare la metafisica soggiacente, ha tematizzato il ruolo dell'osservatore prima e della comunità di osservatori partecipanti poi (altra risonanza con il pragmatismo), e ha recuperato la leggibilità del mondo riflettendo sugli aspetti epistemologici di uno strumento che, fin dagli anni '50, fu tra i primi ad adoperare e promuovere per la ricerca teorica fondamentale. In termini più icastici, potremmo dire che non si è passati banalmente, nel pensiero di Wheeler, dalla metafora dell'universo come orologio a quella dell'universo come computer: in mezzo, a contestazione della prima e a precisazione della seconda, c'è nientemeno che una monadologia, che potrebbe apparire una “baroccaggine” ma che rappresenta a modo suo lo spontaneo confluire delle varie questioni su cui stava riflettendo, da un livello “pregeometrico” più profondo dello spazio e del tempo (*phenomena bene fundata*) ai centri di rappresentazione/registrazione in atti di misurazione quantistica⁵³. Il nuovo *Liber*

⁵² JOHN A. WHEELER, *On Recognizing Law without Law*, cit. Da notare fin dal titolo l'enfasi sul nuovo verbo chiave di questo *modus investigandi*.

⁵³ Ci sono in realtà almeno sei filoni di pensiero che, a partire dal '67, si intrecciano a costituire un originale Leibniz di Wheeler, come illustrato in dettaglio in STEFANO FURLAN, *Merging Labyrinths*, cit.

Naturae su schermo, molto più complesso e sfaccettato, include il ruolo degli osservatori ed emerge dai diversi punti di vista monadologici, con la loro *harmonia praestabilita*: fraseologia leibniziana che a Wheeler era giunta mediata dai grandi matematici di Göttingen e che egli adoperava per indicare quella fiducia nella comprensibilità del mondo appresa da Einstein⁵⁴. Una fiducia, però, innanzitutto “pragmatica”, autoalimentata dalla sua efficacia⁵⁵, che sa arrangiarsi nell’indagine euristica anziché limitarsi a calare rigidamente dall’alto forme geometriche iperuraniche. Anche lo slancio a fare ciò, in fondo, al di là delle unilaterali polarizzazioni tra Galileo “platonico” e Galileo “agrimensore”, è parte dell’eredità di quest’ultimo.

Riassunto La metafora del *Liber Naturae* scritto in caratteri geometrici trovò una concretizzazione nel libro di testo *Gravitation* (1973) di Wheeler, Misner e Thorne. Nel decennio successivo, tuttavia, Wheeler cercò di riconcettualizzare la fisica in una maniera che rende obsoleta la metafora di un libro oggettivamente dato, suggerendo invece quella di un ipertesto scritto da una comunità di osservatori attraverso lo spaziotempo.

Abstract The metaphor of the *Liber Naturae* written in geometrical characters found a concrete instantiation in the textbook *Gravitation* (1973) by Wheeler, Misner, and Thorne. Over the next decade, however, Wheeler tried to reconceptualize physics in a way that makes the metaphor of an objectively given book obsolete, suggesting instead a hypertext written by a community of observers across spacetime.

⁵⁴ Per una curiosa genealogia che passa per Leibniz e per Einstein si veda JOHN A. WHEELER, *Einstein's Second Century*, in Ernst Schmutzter (ed.), *Proceedings of the Ninth International Conference on General Relativity and Gravitation, Jena, 14-16 July 1980*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983, pp. 23-28.

⁵⁵ JOHN A. WHEELER, *El Adelanto de la Ingeniería y la Configuración de Nuestro Futuro*, in «El Farol», 200, 1962, pp. 23-48.