

L'ARTE MATEMATICA DI NORBERT WIENER

di Leone Montagnini

Leone Montagnini



È tecnico nucleare, laureato in Filosofia, in Sociologia e dottore di ricerca in Scienze computazionali e informatiche. Da decenni svolge un'attività di ricerca indipendente in Filosofia e Storia della scienza, interessandosi in particolare al periodo contemporaneo e alla Cibernetica, temi su cui ha tenuto conferenze in diversi centri tra cui l'Università Tsinghua di Pechino, le Università di Vienna e di Budapest, la Normale di Pisa. Ha pubblicato saggi in Italia e all'estero, tra cui: *Le Armonie del Disordine. Norbert Wiener, matematico-filosofo del Novecento*, Venezia, 2005. Come funzionario delle Biblioteche di Roma è responsabile dell'Ufficio Biblioscienze per la diffusione della cultura scientifica e dell'Ufficio Qualità e Customer Care, ruoli nei quali ha organizzato conferenze e convegni e pubblicato articoli e saggi, con una predilezione per la formazione scientifica permanente.

Norbert Wiener (1894-1964) ebbe una folgorante carriera scolastica: ottenne a soli 14 anni la laurea in Matematica, a 17 il master e a 18 il dottorato, entrambi a Harvard e in Filosofia. Coltivò poi studi filosofici ad altissimo livello, con la crema dei filosofi del momento e si specializzò in Logica e Filosofia della scienza, senza trascurare insegnamenti come la Filosofia estetica. Dopo un biennio postdottorale in Europa con Bertrand Russell e Edmund Husserl, conclusosi a New York con John Dewey, visse dal 1916 un periodo di incertezza sulla scelta professionale tra la carriera filosofica e quella ma-

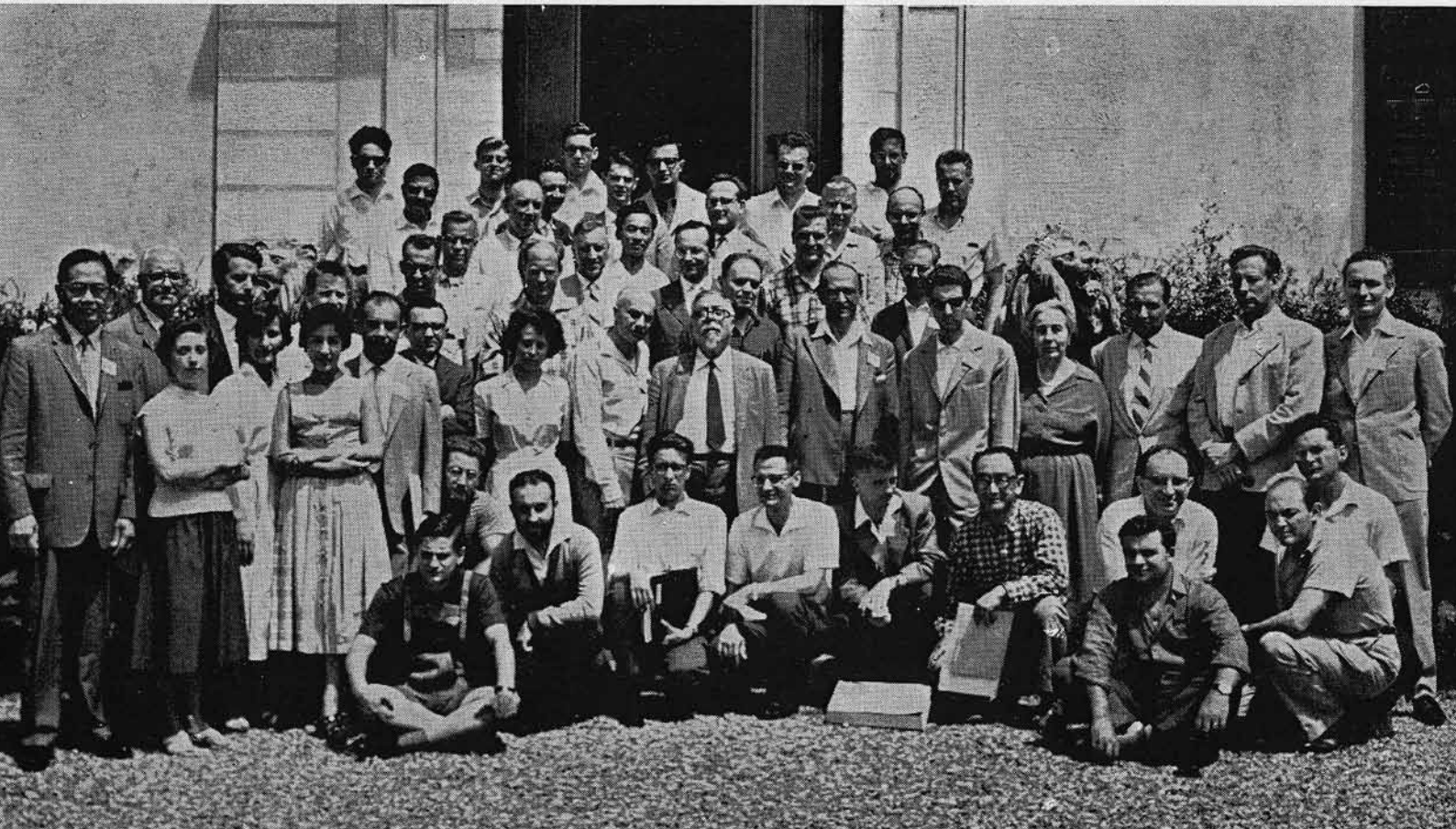
“ I colleghi lo vedevano come un genio matematico di prima grandezza. ”

tematica. Alla fine, nel 1919, fu assunto presso il Dipartimento di Matematica dell'MIT che divenne la sua sede stabile fino alla morte. Da allora si aggrappò con determinazione alla propria identità di matematico, cui teneva al punto da intitolare *I am a Mathematician* il secondo tomo della sua autobiografia, quello che comincia dal 1919. Ne seguì una altrettanto rapida e folgorante carriera, senza interruzioni, di matematico [1]. I colleghi lo vedevano come un genio matematico di prima grandezza. Nel 1966 gli fu dedicato per la “*sua ec-celsa statura nella matematica americana e mondiale, il notevole genio poliedrico, l'originalità e la profon-*

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

SCUOLA INTERNAZIONALE DI FISICA

7° CORSO ESTIVO - VARENNA SUL LAGO DI COMO - VILLA MONASTERO - 7-19 Luglio 1958



SETTIMO CORSO ESTIVO DELLA SCUOLA INTERNAZIONALE DI FISICA (7-19 LUGLIO 1958), TENUTOSI PRESSO VILLA MONASTERO A VARENNA, SUL LAGO DI COMO. AL CENTRO SI PUÒ NOTARE NORBERT WIENER, ALLA CUI DESTRA TROVIAMO EDUARDO CAIANIELLO, ANNA CUZZER, ANTONIO RUBERTI E, INCHINATO, ANTONIO LEPSCHY, ALLA SINISTRA C'È DENNIS GABOR (IMMAGINE TRATTA DAL SUPPLEMENTO AL VOLUME XIII, SERIE X DEL NUOVO CIMENTO, N. 2, 3° TRIMESTRE 1959, © SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA 1959, PER GENTILE CONCESSIONE DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA)

dità dei suoi pionieristici contributi alla scienza" [2], il numero speciale della rivista dell'*American Mathematical Society*. La poliedricità viene anche sottolineata nella motivazione della *National Medal of Science*, attribuitagli per i suoi "contributi meravigliosamente versatili, profondamente originali, che spaziano dalla Matematica pura a quella applicata, penetrando audacemente nell'Ingegneria e nelle scienze biologiche" [3]. In un contesto non encomiastico è interessante il giudizio espresso su

di lui da Warren Weaver, il matematico che ne diresse le attività di ricerca nei cinque anni di guerra. Tra il '45 e il '47, il MIT aveva in progetto un calcolatore digitale elettronico, da non confondere con il *Whirlwind* sviluppato dal *SERVO Lab* dello stesso MIT [4]. La *Rockefeller Foundation*, per decisione di Weaver che ne dirigeva la sezione di scienze fisiche, aveva stanziato per questo progetto un finanziamento di 100.000 dollari, a patto però che fosse coinvolto Wiener. Ma que-

sti, a causa della crisi morale che lo travolse dopo il bombardamento atomico del Giappone, mostrò una forte ritrosia ad impegnarsi, probabilmente perché intravedeva nel progetto possibili finalità militari. Ad un certo punto, il MIT fu tentato di sostituirlo con altri matematici ma Weaver scrisse solennemente al direttore del progetto: "Penso che la questione circa 'cosa si vuole che un computer faccia?' richieda vaste conoscenze matematiche, vasta immaginazione, grande ampiezza

e profondità mentale. Certo, senza dubbio si potrebbe avere qualche ispirazione conversando con una dozzina di leader in *Matematica applicata*. Ma era proprio qui che io avevo sperato e mi aspettavo che avessimo il genio di Norbert Wiener” [5].

Alla fine il MIT restituì il finanziamento e puntò tutte le sue carte sul *Whirlwind*, che poco dopo fu scelto come “cuore pensante” di ciascuna delle grandi centrali, dotate di sistemi antiaerei

a guida radar, collegate telematicamente a formare la rete SAGE (*Semi-Automatic Ground Environment*) for U.S. Air Defence, immenso ombrello protettivo sul Nord America. Alcune di queste centrali divennero luoghi dove si svilupparono strategie per giocare la guerra fredda [6]: Wiener ancora una volta non si era sbagliato.

Quali erano le fonti del genio di Wiener? Anche a parità di condizioni ambientali e di alimentazione, crescono pochi “spilungoni” e pochi “piccoletti” mentre le frequenze modali sono occupate da persone di media altezza [7] e questo fa evidentemente riferimento a predisposizioni genetiche. Vale anche per il genio matematico? Lascio volentieri ai genetisti la questione, in questo caso particolarmente spinosa essendo Wiener ebreo. Einstein, per spiegare l’eccellenza ebraica negli studi, sostenne che “*la stima in cui il lavoro intellettuale è tenuto presso gli ebrei, crea un’atmosfera particolarmente favorevole allo sviluppo di ogni possibile talento. Allo stesso tempo un forte spirito critico impedisce una cieca sottomissione a una qualsiasi autorità morale*” [8]. La biografia di Wiener lo conferma: proveniva da una famiglia di ebrei emancipati liberali, con il padre Leo entusiasticamente innamorato della scienza; entrambi, padre e figlio,

avevano un forte spirito critico, con la precisazione, però, che l’esercizio della libertà di coscienza in Norbert Wiener (come in tanti altri ebrei) andò sempre di pari passo con una indiscutibile lealtà nei confronti

della patria, nel suo caso gli Stati Uniti, sia che dovesse essere difesa dai nemici – con le armi della scienza, data la forte miopia che gli impedì di combattere in prima linea, come fece nelle due guerre mondiali – sia che ritenesse utile

salvarla da se stessa, contrastando la logica dei falchi nella guerra fredda: “*Essere vivo – scrive nel 1950 – (...) implica (...) la capacità di condurci a formare dei soldati quando abbiamo bisogno di soldati, ma che ci permetta ugualmente di avere dei santi quando ci occorrono dei santi*” [9].

Un’altra fonte di genialità deve essere stata la sua precocissima iniziazione alla Matematica: “*Ho appreso l’Algebra e la Geometria ad un’età così tenera che si può dire siano cresciute come una parte di me stesso*” [10]. Poiché Ivan Illich sottolinea “*la straordinaria capacità di apprendere propria dei primi quattro anni di vita*” [11], mi chiedo allora se, come ci sono bilingui perfetti e nativi digitali, non si possa pensare a dei “nativi matematici” in cui le abitudini mentali a trattare problemi matematici divengono quasi istintive. Da non sottovalutare è poi pure la tendenza, che Wiener condivide con tanti altri geni, matematici e no, all’autodidattica: le conoscenze di cui ci si appropria, quelle che si “rubano” da soli con un atto di libertà, si radicano più fortemente nel cuore e nella mente. Anche la formazione filosofica a largo spettro deve aver formato un utile *humus*. Wiener stesso riteneva che la creatività scientifica fosse aiutata da un retroterra umanistico, dall’essere radicati in una tradizione

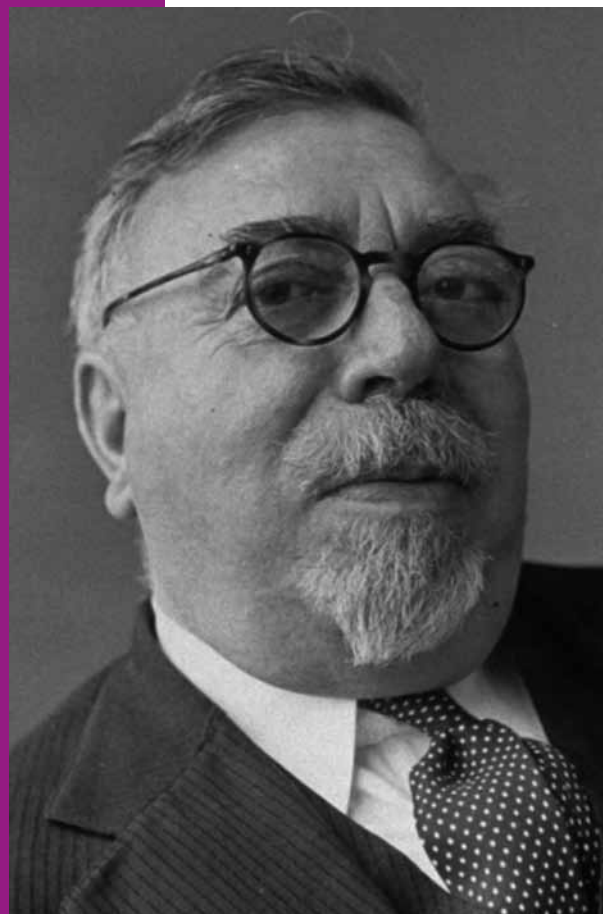
“ Vaste basi culturali con i piedi piantati in una specializzazione: sarà la ricetta che Wiener proporrà per formare buoni scienziati. ”

culturale, fosse questa talmudica, confuciana o indù [12]. Nel suo caso specifico, sono dimostrabili analogie non banali tra le sue creazioni matematiche e la Filosofia entro cui si è formato, per esempio in relazione a vari aspetti del pensiero di Josiah Royce, il filosofo idealista sotto il quale conseguì il dottorato. Nella sua opera principale [13], Royce proponeva l’idea di “sistemi autorappresentativi” e immaginava di porre sul suolo d’Inghilterra un’esatta mappa dell’Inghilterra, contenente dunque a sua volta anche la mappa stessa, e dentro la mappa ancora l’Inghilterra e la mappa e così via all’infinito. Traspare qui un’analogia con il “processo di Wiener”, la sua prima grande scoperta: uno studio in termini di Analisi funzionale delle traiettorie del moto browniano, considerate come curve continue non differenziabili, soggette all’azione del caso e ottenute con procedimento iterativo. Mantengono le medesime caratteristiche statistiche indipendentemente da quanto piccolo si prenda un tratto di esse [14]. Vaste basi culturali con i piedi piantati in una specializzazione: sarà la ricetta che Wiener proporrà per formare buoni scienziati [15]. E anche per la ricerca interdisciplinare: “*Abbiamo bisogno di un pensiero che realmente unifichi le diverse scienze, di un gruppo di uomini profondamente specializzati nel proprio campo, ma che possiedano anche un’adeguata competenza nei campi contigui*” [16]. I gruppi interdisciplinari a cui partecipò, sempre in veste di matematico, erano comunque piccoli e sempre formati da menti di prima scelta: per quest’ultimo aspetto, Wiener ha sempre avuto una visione aristocratica dell’intelligenza. A suo parere le prime fasi di una ricerca andavano affidate ad un pioniere geniale o a piccoli gruppi interdisciplinari di personalità di genio. Il lavoro massivo, quello della *big science*, semmai sarebbe venuto dopo, nell’ora dello sviluppatore e del sistematizzatore.

Norbert Wiener

Nato il 26 novembre 1894 a Columbia (Missouri), consegue la laurea in Matematica a 14 anni e il dottorato in Filosofia a 18, specializzandosi in Logica e Filosofia della scienza. Segue un biennio con Bertrand Russell e G. H. Hardy a Cambridge, Edmund Husserl a Göttingen e John Dewey a New York. Nel 1919 è assunto presso il Dipartimento di Matematica del MIT, teatro di tutta la sua carriera. Al biennio '19-'20 risale la sua prima fondamentale ricerca, mediante i suoi tipici metodi di analisi funzionale e stocastica, che lo conduce alla scoperta del "processo di Wiener". Pressato dalle esigenze degli ingegneri elettrici e dei fisici quantistici, giunge all'Analisi armonica generalizzata – estensione dell'Analisi di Fourier alle curve aperiodiche – che gli fa ottenere nel 1933 il prestigioso Premio Bôcher. Nei primi anni Quaranta conduce per il governo degli USA una ricerca su centrali antiaeree in grado di prevedere la rotta degli aerei nemici, mettendo a punto la "teoria della predizione" di Wiener-Kolmogorov, e varie ricerche sui calcolatori elettronici digitali. Comprende la possibilità di una *crossfertilization* tra queste ricerche e quelle sul vivente e giunge all'idea di una nuova scienza basata sull'"elaborazione dell'informazione", nell'animale e nella macchina, che, nel dare il titolo ad un libro del '48, chiama Cibernetica. Dopo l'uso delle atomiche contro il Giappone, rifiuta di partecipare a progetti militari e abbandona l'Informatica. Si interessa all'applicazione della Cibernetica a patologie cardiache e nervose, alla progettazione di protesi e all'impatto delle tecnologie cibernetiche sulla società. Muore a Stoccolma il 18 marzo del 1964.

NORBERT WIENER
(IMMAGINE DI PUBBLICO DOMINIO)



Wiener si occupò sempre di problemi applicativi, in un Politecnico come il MIT ma anche fuori di esso, da solo o in collaborazione con matematici, ingegneri, fisici, neurofisiologi, scienziati sociali. È interessante tuttavia notare la relazione tra teoria e prassi che contraddistingue la sua attività: restò infatti sempre e solo un matematico puro. Scrive Dennis Gabor nel 1966: "Norbert Wiener è stato un fenomeno raro, un matematico puro che rese grandi servizi all'Ingegneria, pur restando matematico puro. Per i matematici applicati e gli ingegneri, i matematici puri sono una strana genia (...) si immergono nel mondo della Matematica pura e rigorosa, del tutto

creato da uomini, pieno di entità e di relazioni dotate di senso logico ma di nessun possibile senso fisico, e ne riemergono con le tasche piene di tesori pratici. Io questo non lo capisco, e neppure voglio dar credito a chi asserisce di capirlo. Semplicemente lo assumo come un fatto empirico, e porto Norbert Wiener come prova" [17].

In un articolo del 1923, "On the nature of mathematical thinking", Wiener sembra quasi rispondere in anticipo di 43 anni allo stupore di Gabor: "In ogni campo della Matematica c'è un livello di generalità nel quale è più facile dimostrare i teoremi, e le complicazioni inutili si evidenziano più rapidamente raggiungendolo"

[18]. Dunque era proprio la sua capacità di elevarsi al livello più puro di un problema che gli permetteva di accelerare il processo di scoperta. Aggiunge Wiener, immediatamente dopo: "È segno di grandezza da parte di un matematico prendere diverse teorie distinte, frammentarie, aggrovigliate e tortuose, e riuscire a saldarle in un tutto unico, chiaro, luminoso e semplice con una profonda percezione delle capacità dei propri metodi" [19].

La frase è vera conoscendo il suo stile di ricerca che tenta di fondere teorie anche lontane in un elegante *unicum*, sfruttando la *crossfertilization* che ne consegue. Ma qual è il nesso con la frase precedente?

Curiosamente, Gabor nel suo encomio mantiene la stessa connessione. Infatti, aggiunge: *“Il principale risultato di Norbert Wiener consiste nell’aver stabilito il legame tra i fenomeni statistici e la tecnica delle comunicazioni e dei controlli. Il modo in cui lo ha fatto è suo caratteristico: iniziò con il riconciliare la Meccanica statistica con la Matematica pura”* [20]. La tendenza di Wiener a salire al livello più alto di generalità è dunque strettamente connessa con la sua capacità di unificare campi lontani l’uno dall’altro.

Nello specifico, il riferimento di Gabor andava alle ricerche di Wiener, condotte tra il '40 e il '42 in collaborazione con l'ingegnere Julian Bigelow, sui predittori antiaerei, che culminarono nel libro del 1942 posto sotto segreto e soprannominato *Yellow Peril*, ma il cui titolo completo è *The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series* [21]. Il volume contiene la teoria della predizione delle serie stazionarie o dei filtri di Wiener, scoperta a cui giunse contemporaneamente in URSS Andrej Kolmogorov. È sintomatico che, per far scendere lo *Yellow Peril* dai cieli degli spazi di Hilbert alla terra di una Matematica comprensibile all'ingegnere e al matematico ordinario, come testimonia John Tukey (lo statistico a cui si attribuisce l'introduzione del termine “bit”), fu necessario nei tre anni successivi farne almeno una dozzina di “simplifications” o “explanations” [22]. Sintomatico è pure che per questa attività gli inglesi riscoprirono il matematico Percy J. Daniell (1889-1946) [23]. Tra il '19 e il '21, per la scoperta del “processo di Wiener”, lo stesso Wiener si era basato tra gli altri su un articolo di Daniell che era poi rimasto isolato nell'Università di Sheffield, una città che allora spiccava per le sue acciaierie. La capacità di Daniell di capire Wiener ne provocò la fuoriuscita dall'oblio in tempo di guerra. Nel suo riassunto del libro, Daniell scriveva: *“Ogni futura teoria sulle fluttuazioni*

statistiche e sui problemi della predizione certamente sarà edificata sulle idee fondamentali espresse nel manuale”. Capiva anche, con un certo stupore e ammirazione, il percorso mentale di Wiener durante tutti quegli anni: *“La sua tecnica è una logica estensione del calcolo di Heaviside”* [24].

Wiener conferma: *“Per parecchi anni la principale esigenza postami al MIT dal Dipartimento di Ingegneria elettrica era di dare appropriate basi logiche al calcolo di Heaviside. (...) Nel perseguire*

questo scopo, dovetti studiare l'Analisi armonica su basi estremamente generali e scoprii che il lavoro di Heaviside poteva essere tradotto parola per parola nel linguaggio di questa Analisi armonica generalizzata. In tutto ciò ci fu un interscambio tra ciò che stavo facendo per la teoria di Heaviside e quanto avevo fatto per il moto browniano” [25]. È per questa via che pervenne alla teoria della predizione dello *Yellow Peril*: *“Le mie ricerche di guerra sul filtraggio e la predizione delle serie temporali avevano rappresentato un'estensione delle mie prime ricerche sull'Analisi armonica generalizzata e sul moto browniano”* [26].

L'itinerario di Wiener appare quasi come lo sviluppo del tema iniziale, tappa dopo tappa, con l'esigenza di non fermarsi alla prima acquisizione, ma di cercare sempre tutte le possibili conseguenze di un problema: *“Nella ricerca scientifica non è sufficiente essere in grado di risolvere i nostri problemi. Si devono anche girare e rigirare questi problemi per scoprire che tipo di problemi sono stati risolti. È frequente il caso in cui, nel risolvere un problema, si è automaticamente risposto anche a un altro, che non era stato considerato come legato al primo”* [27].

“ Wiener resta un matematico puro, la cui Matematica diviene una miniera di tesori applicativi. ”

Wiener resta un matematico puro, la cui Matematica diviene una miniera di tesori applicativi, come dice Gabor. Tra le ricadute dello *Yellow Peril*, oltre alla teoria della predizione, ci sono anche la teoria dell'informazione di Shannon e la “teoria classica dei controlli”, che vanno intese come sviluppi e sistematizzazioni delle intuizioni contenute nel libro e negli altri rapporti sulla ricerca sui predittori antiaerei. Questo atterraggio nel concreto fa bene al matematico: *“Non c'è niente di*

meglio che esempi concreti – osserva Wiener – per sollevare il morale del matematico” [28].

Il suo percorso di ricerca può essere anche visto come un costante procedere dalla prassi alla teoria e viceversa, percorrendo una

spirale di circoli virtuosi che sembra seguire un filo di Arianna.

La storia di Daniell insegna però anche che la creatività di un individuo di genio deve incontrare nel corso del suo itinerario ambienti di sviluppo opportuni. Un po' di spine possono far bene, anzi forse sono una condizione necessaria: *“Le cicatrici – dice Brecht – dolgono nel tempo di gelo. Ma spesso dico: solo la fossa non m'insegnerà più nulla”* [29]. Troppe spine però possono congelare la creatività del genio, come accadde ad esempio a Walter Pitts, uno dei collaboratori di Wiener, a causa di un amaro dissidio mai sanato con il maestro [30].

Tradirei il sentire più radicato di Wiener se non accennassi al nesso non banale che poneva tra Logica e Matematica. La sua capacità di elevarsi alle altezze della Matematica superiore è dovuta, oltre che al suo genio, al lungo *training* logico e algebrico. Tuttavia, a suo parere, la Logica non basta per fare Matematica: *“Un uomo dotato soltanto di Logica sicuramente non farà mai della*



NORBERT WIENER E
GIACOMO DELLA RICCIA
ALL'ISTITUTO DI FISICA TEORICA
DELL'UNIVERSITÀ DI NAPOLI
NEL 1960 (CORTESIA DI
GIACOMO DELLA RICCIA)

cattiva Matematica, ma altrettanto sicuramente non farà mai nemmeno della buona Matematica. La Matematica è un'arte che richiede immaginazione in quanto scienza logica" [31]. Illustra lo stesso tema in diversi passi nell'arco di 50 anni: "Il mezzo espressivo della Matematica è il pensiero logico" [32], ma la Matematica è arte *strictu sensu*: "Un'arte che lavora con un materiale difficile, e questo materiale è il rigore logico; ma è un'arte" [33]. "Ha lo scopo dell'arte e suscita le emozioni suscitate dall'arte. (...) Essa partecipa all'intima vita dell'arte e come l'arte (...). Chiamatela o no arte, la sua natura vera è vicina alla musica, alla letteratura, alla pittura, come queste ultime lo sono l'una rispetto all'altra" [34].

Nel fare Matematica Wiener è come un Mozart o un Van Gogh che segue un'ispirazione oppure come un filosofo, raro oggidi, che penetra il suo tema cercando di metterne a nudo il *Grund*, l'essenziale. Per Bigelow, come detto, suo collaboratore durante la guerra e poi ingegnere capo del computer creato da von Neumann a Princeton, non c'era verso che Wiener lavorasse "soltanto in base a considerazioni utilitaristiche, specialmente se [il problema] non possiede le qualità suggestive che hanno le soluzioni formali ele-

ganti e generali" [35]. E se si fosse dovuto trattare anche il più tecnico dei problemi – aggiungerei io – Wiener avrebbe cercato di coglierne il nocciolo, inquadrandolo in una elegante visione organica.

Per Wiener l'ispirazione conta più della Logica, tanto che spesso occorre accettare un esordio illogico: "La nostra risposta provvisoria per cominciare può essere vaga, molto vaga e di una natura totalmente ripugnante al pensiero logico" [36]. Questo d'altro canto lo verifica nella storia della scienza: "Dire 'dimostrazione sbagliata' è molto diverso dal dire 'dall'aspetto bizzarro'. (...) In Matematica ci sono state molte realtà che per anni sono state definite 'patologiche', le funzioni continue non differenziabili, per fare un esempio (...). Erano così strane che sembrava non potessero essere giuste" [37]. Di fronte alle curve di Koch o di Peano, Charles Hermite scriveva a Thomas J. Stieltjes: "Distolgo lo sguardo con spavento e orrore da questa miserevole piaga delle funzioni che non hanno derivata" [38]. Eppure, nel 1920, le traiettorie del processo di Wiener, che appartenevano a questa classe di oggetti teratologici e mostruosi, ebbero un'utilità pratica importante in Fisica e Ingegneria: "L'onestà intellettuale – conclude Wiener – non solo richiede

di evitare ricerche di scarsa qualità ma consiste anche nel non (...) rifiutare una ricerca semplicemente perché è un po' sgradevole da avviare. Il mero conservatorismo non garantisce l'onestà" [39].

Tutto questo si riflette sul suo *modus operandi* nella ricerca matematica: "Ci sono articoli che hanno difetti, dove l'autore ha sicuramente fatto un errore, ma dove la pista è sufficientemente nuova e chiara che mettere una pezza a quell'errore è facile" [40]. I collaboratori erano spiazzati: "Invariabilmente, quando lavoravo con Wiener – dice Bigelow –, le cose che aveva detto risultavano vere, matematicamente vere, ma le dimostrazioni che dava non erano mai corrette. L'intuizione era corretta, in modo che prima o poi qualcun altro in effetti l'avrebbe ripulita, oppure dovevamo seguire cinque diverse fasi per migliorarla, scoprendo infine che l'enunciato era vero, sotto alcune condizioni" [41]. Negli anni '60, al MIT, Wiener e Giacomo Della Riccia (suo ultimo collaboratore) sono alla lavagna, nell'ennesimo e ultimo tentativo di Wiener di unificare Meccanica quantistica e Fisica classica attraverso la sua Matematica stocastica. Della Riccia gli fa notare: "Ma Wiener, non si può fare!". E lui: "Non ti preoccupare Giacomo, poi lo correggiamo!" [42]. ■

Note

- [1] Si vedano a questo proposito L. Montagnini, *Le Armonie del Disordine. Norbert Wiener, Matematico-filosofo del Novecento*, IVSIA, Venezia, 2005, con ampia bibliografia, per approfondimenti, e S.J. Heims, *John von Neumann and Norbert Wiener*, MIT Press, Cambridge (MA), 1984; per gli aspetti più matematici, invece, si può fare riferimento a P.R. Masani, *Norbert Wiener*, Birkhäuser Verlag, Basel, 1990.
- [2] *Bulletin of the AMS*, 72 (1966), n. 1, parte 2, dedica.
- [3] W. Rosenblith e J. Wiesner, "From Philosophy to Mathematics to Biology", *Journal of Nervous and Mental Disease*, v. 140, n. 1, 1965, p. 3.
- [4] K.L. Wildes e N.A. Lindgren, *A century of electrical engineering and computer science at MIT, 1882-1982*, MIT Press, Cambridge (MA), 1985, pp. 280-301.
- [5] Ivi, pp. 234-5.
- [6] Cfr. P.N. Edwards, *The closed world. Computers and the politics of discourse in Cold War America*, MIT Press, Cambridge (MA), 1997, pp. 81-90; Ph. Breton, *La storia dell'informatica*, Cappelli, Bologna, 1992, pp. 120-3.
- [7] La nozione di "uomo medio" fu studiata nella prima metà dell'800 dal matematico Adolphe Quételet, che per primo notò il *fitting* tra misure antropometriche e curva di Gauss, curva che per questo gli antropometristi chiameranno "normale".
- [8] A. Einstein, *Pensieri degli anni difficili*, Boringhieri, Torino 1977, p. 100.
- [9] N. Wiener, *The Human Use of Human Beings*, Eyre and Spottiswoode, London, 1950, p. 217, capitolo non tradotto nella traduzione italiana.
- [10] Id., *Ex-prodigy*, MIT Press, Cambridge (MA), 1964, p. 290.
- [11] I. Illich, *Descolarizzare la società*, Mondadori, Milano, 1972, p. 60.
- [12] Si veda Id., *L'invenzione*, Boringhieri, Torino, 1994, p. 54.
- [13] J. Royce, *The world and the individual*, MacMillan Co., London, 1901, pp. 504-7.
- [14] Cfr. N. Wiener, "The mean of a functional of arbitrary elements," *Annals of Mathematics*, (2) 22 (1920), pp. 66-72 e Id., "The average of an analytical functional," in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 7 (1921), pp. 253-260.
- [15] Cfr. N. Wiener. *Ex-prodigy*, cit., p. 295.
- [16] Id., *Introduzione alla cibernetica*, Torino, Boringhieri, 1966, p. 73.
- [17] D. Gabor, "Wiener and the Art of Communication," in V. Mandraker e P.R. Masani (a cura di), *Proceedings of the Norbert Wiener Centenary Congress, 1994*, AMS, Providence 1997, p. 525.
- [18] N. Wiener, "On the nature of mathematical thinking", *Australasian Journal of Psychology and Philosophy*, 1 (1923), p. 271.
- [19] Ivi.
- [20] D. Gabor, op. cit., p. 525.
- [21] Declassificato e pubblicato da Wiley & Sons, New York e Londra, 1949.
- [22] Cfr. J.W. Tukey, "Book review: The Extrapolation, Interpolation and Smoothing (...), by Norbert Wiener", *Journal of the American Statistical Association*, 258 (1952), p. 319.
- [23] A. Porter, "The Servo Panel. A unique contribution to control-systems engineering", *Electronics & Power*, ottobre (1965), p. 332; J. Aldrich, "But you have to remember P. J. Daniell of Sheffield", *Electronic Journ@l for History of Probability and Statistics*, Dicembre 2007.
- [24] P.J. Daniell, *Digest of Manual on "the extrapolation (...), SRD 1 PR 328*, indicativamente marzo del 1943. Cito da S. Bennett, "Norbert Wiener and control of anti-aircraft guns", *IEEE Control Systems Magazine*, v. 14, n. 6 (1994), p. 61.
- [25] N. Wiener, *I am a mathematician*, 2° ed., MIT Press, Cambridge (MA), 1964, p. 78.
- [26] Ivi, p. 288.
- [27] Ivi, p. 246.
- [28] Id., "Godfrey Harold Hardy (1877-1947)", *Bulletin of the AMS*, 55 (1949), pp. 72-77.
- [29] B. Brecht, "L'uomo che impara", citato in A. Bella, *Socrate in giardino*, Ponte delle Grazie, Milano, 2014.
- [30] Sulla vicenda di Walter Pitts, si veda l'intervista a Jerome Y. Lettvin, 2 giugno 1994, in A. J. Anderson e E. Rosenfeld (a cura di), *Talking nets. An oral history of neural networks*, MIT Press, Cambridge (MA), 2000, pp. 2-3.
- [31] N. Wiener, "On the nature ...", cit., pp. 268-269.
- [32] Id., "Mathematics and art", *The Technology Review*, 32 (1929), p. 132.
- [33] Id., "Intellectual honesty and the contemporary scientist", *The Technology Review*, 66 (1964), pp. 17-18, 44-45, 47.
- [34] Id., "Mathematics and art", cit., p. 160.
- [35] Bigelow a Weaver, 22 aprile 1944, US National Archives, AMP. Cito da L. Owens, *Mathematicians at war: Warren Weaver and the Applied Mathematics Panel, 1942-1945*, in D. Rowe e J. McCleary (a cura di), *The history of modern mathematics*, vol. II, Academic Press, Boston, 1989, p. 295.
- [36] N. Wiener, "On the nature ...", cit., p. 270.
- [37] Id., "Intellectual honesty ...", cit., p. 18.
- [38] Riportato da S.J. Heims, op. cit., p. 70.
- [39] N. Wiener, "Intellectual honesty ...", cit., p. 18.
- [40] Ivi, p. 44.
- [41] J. Bigelow, Intervista di R. Mertz, 20 gennaio 1971, p. 45, *Archives Center, National Museum of American History Computer, 1969-1973*, 1977.
- [42] Riferisco a memoria una conversazione con Giacomo Della Riccia del gennaio 2015. Cfr. G. Della Riccia e N. Wiener, "Random Theory in Classical Phase Space and Quantum Mechanics", *Proceedings of the International Conference on Functional Analysis*, MIT Press, Cambridge (MA), 1964 e G. Della Riccia e N. Wiener, "Wave Mechanics in Classical Phase Space, Brownian Motion and Quantum Theory", *J. Math. Phys.* 7 (1966), n. 8, pp. 1372-1383. Ringrazio il prof. Della Riccia, che mi onora da 20 anni della sua amicizia, per le lunghe conversazioni in cui mi trasmette lo spirito del matematico in azione.