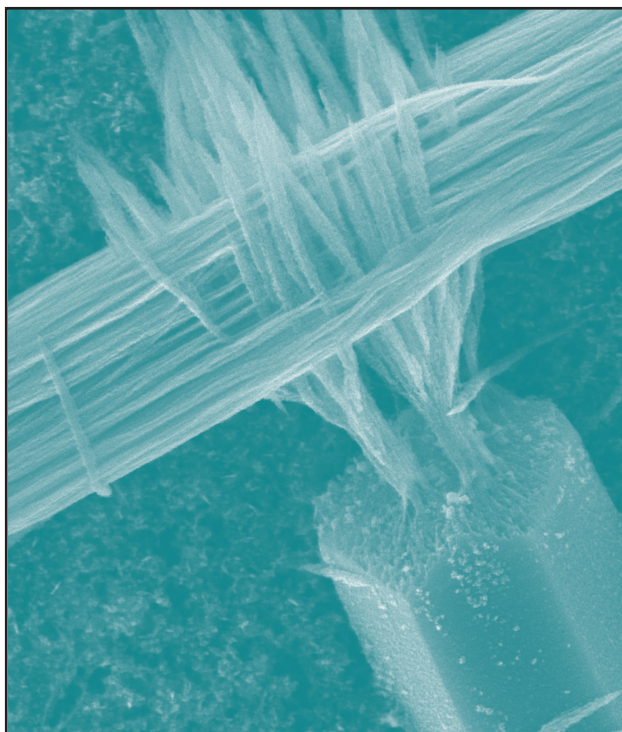


Carlo Enrico Bottani

IL MESTIERE DELLA SCIENZA

La ricerca scientifica fra artigianato e Big Science

scienza **FA**



FrancoAngeli

Informazioni per il lettore

Questo file PDF è una versione gratuita di sole 20 pagine ed è leggibile con



La versione completa dell'e-book (a pagamento) è leggibile con Adobe Digital Editions. Per tutte le informazioni sulle condizioni dei nostri e-book (con quali dispositivi leggerli e quali funzioni sono consentite) consulta [cliccando qui](#) le nostre F.A.Q.



scienza **FA**

Una collana di saggi per il lettore non specialista:
per comprendere la realtà che ci circonda

Collana diretta da:
Renato Betti, Politecnico di Milano
Roberto Lucchetti, Politecnico di Milano
Giuseppe Rosolini, Università di Genova

Carlo Enrico Bottani

IL MESTIERE DELLA SCIENZA

La ricerca scientifica fra artigianato e Big Science

scienza **FA**

FrancoAngeli

In copertina:

immagine al microscopio elettronico di microcristalli in fase di crescita in una goccia d'acqua.
Dall'archivio del laboratorio dell'autore presso il Dipartimento di Energia
del Politecnico di Milano.

Progetto grafico di copertina: Geraldine D'Alessandris

1a edizione Copyright © 2015 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito www.francoangeli.it.

Indice

Prefazione, di <i>Giorgio Benedek</i>	pag.	11
Introduzione	»	23
Ringraziamenti	»	29
Prologo. Nei pressi di un'antica università (Pavia 1965)	»	31
1. Scienza come artigianato	»	33
2. Scienza e conoscenza	»	57
3. Scienza e tecnologia	»	79
4. Scienza e comunicazione	»	95
5. Scienza e società	»	115
Postfazione, di <i>Paolo Milani</i>	»	127
Suggerimenti di lettura	»	131
L'autore	»	133

Dedico questo libro a mia moglie Laura

*Per arrivare a quello che non sai
devi andare per dove non sai.*
San Juan de la Cruz

*In order to arrive at what you do not know
you must go by the way which is the way of ignorance.*
T.S. Eliot

Prefazione

Sono molto grato a Carlo e onorato del suo gentile invito a presentare questo suo importante scritto, e ancor più per avere trovato il tempo e il modo migliore di spiegare ai lettori che non appartengono al mondo della scienza la natura, le aspirazioni e le finalità del nostro lavoro, sottraendolo alle mitizzazioni di chi ama gli *ipse dixit* e considera la scienza dispensatrice di verità, ma anche alla denigrazione di chi la considera fonte d'ogni male. Essere prefatore significa dire la prima parola. Ciò mi procura qualche disagio, pari a quello che proverei se dovessi dire l'ultima. Nel nostro mestiere non c'è mai per alcuna questione la prima o l'ultima parola, ma un rapporto dialettico che viene da lontano e prosegue senza interruzione. Come ricorda Marsilio da Padova, prendendo da Aristotele, “*nullus enim potest invenire per se artes operativas aut considerativas, id est speculativas, in maiori parte, quia non complentur, nisi per iuumentum prioris ad sequentem... Sic ergo per auxilium hominum invicem et addicionem posterius inventorum ad inventa prius receperunt omnes artes et discipline complementum*”¹.

1. “Nessuno può infatti scoprire da solo la maggior parte delle arti pratiche e di pensiero, ossia speculative, poiché ciò non si realizza se non con l'aiuto di chi viene prima a chi viene dopo... E dunque è con la collaborazione reciproca degli uomini e il sommarsi di nuove scoperte a scoperte precedenti che tutte le arti e le discipline sono state perfezionate” (Marsilio da Padova, *Defensor Pacis*, 1324; trad. it. *Il difensore della pace*, a cura di M. Conetti, C. Fiocchi, S. Radice, e S. Simonetta, con introduzione di M. Fumagalli Beonio Brocchieri, BUR, Milano, 2001).

Carlo, valentissimo fisico sperimentale della materia condensata con la buona abitudine di dialogare con i teorici, ha avuto il privilegio del liceo classico e di iniziare il suo cammino di fisico con la teoria dell'atomo di Bohr e la *Filosofia della matematica e delle scienze naturali* di Herman Weyl². Dovrei sentirmi complementare a Carlo, essendo fisico teorico avvezzo a ragionare con gli sperimentali, ed essendomi formato al liceo scientifico con la *Logica della fisica moderna* di Percy William Bridgman³, grande fisico sperimentale e premio Nobel 1946. In realtà ci accomuna la convinzione che non esistano due culture ma una sola. "Nessuno può essere, oggi, così cieco da non rendersi conto che l'esistenza di due culture, tanto diverse e lontane l'una dall'altra quanto la cultura letterario-umanistica e quella scientifico-tecnica, costituisce un grave motivo di crisi della nostra civiltà; essa vi segna una frattura che si inasprisce di giorno in giorno, e minaccia di trasformarsi in un vero muro di incomprendimento, più profondo e nefasto di ogni altra suddivisione...". Così Ludovico Geymonat nella prefazione a *Le due culture* di Charles Percy Snow⁴, e quell'oggi è il 1964. Non sono sicuro che le cose siano molto cambiate da allora nei rapporti tra umanisti e scienziati, e nemmeno nel nostro ordinamento scolastico, ma il libro dimostra come l'eccellente formazione umanistica, in particolare filosofica, del suo autore possa servire a illustrare la sostanza profonda del lavoro scientifico e la sua comunanza all'alto artigianato dell'artista rinascimentale.

Vi sono altre dicotomie meritevoli d'essere ricomposte nell'interesse della scienza futura. Vi è l'ironica distinzione di Phil Anderson tra fisica maggiore (delle particelle elementari e quindi dei fondamenti) e fisica minore (della materia condensata e dei sistemi complessi); quella tra fisica teorica e fisica sperimentale, e quel-

2. Hermann Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, Princeton University Press, Princeton, 1949; trad. it. *Filosofia della matematica e scienze naturali*, Boringhieri, Torino, 1967.

3. Percy W. Bridgman, *The Logic of Modern Physics*, Beaufort Books, New York, 1927; trad. it. *La logica della fisica moderna*, Einaudi, Torino, 1952.

4. Charles P. Snow, *The Two cultures*, Cambridge University Press, Cambridge 1959; trad. it. *Le due culture*, con prefazione di L. Geymonat, Feltrinelli, Milano, 1964.

la sociologica tra scienza utile e scienza inutile. Sono terreni di lavoro e discussione per i filosofi della scienza e gli epistemologi, ma la storia recente, fatta di fertilissime interazioni tra diversi settori, dimostra il buon principio che di fisica ce n'è una sola. Vi è una medesima struttura logica del lavoro di ricerca, nell'uso degli strumenti, siano essi spettrometrici o matematici, e nell'arte di interrogare la natura, che non consente distinzioni tra il fisico-artigiano del piccolo laboratorio e ciascuno dei mille collaboratori di un progetto del CERN. Fondamentale elemento di unità è l'uso di un linguaggio comune, espresso da grandezze fisiche ben definite e collegate da precise equazioni, che in linea di principio può e deve essere inteso da ogni fisico in modo univoco, fatta salva un'adeguata preparazione. Osserva l'autore che "gli embrionali contributi alla logica di Platone, soprattutto quelli fondanti e fondamentali di Aristotele e di molti altri filosofi greci, sono le premesse indispensabili per l'attuale logica formale che si occupa del valore di verità delle proposizioni e, in particolare, dei procedimenti deduttivi che hanno svolto, comunque li si valuti, un ruolo imprescindibile nella costruzione della matematica e della fisica". Come quella filosofia classica avrebbe contribuito, tramite la scolastica, al consolidamento del cristianesimo come religione dogmatica, così si teme (con fondamento) che la scienza, al pari di una religione fondata su alcuni dogmi, generi comportamenti incompatibili con il genuino metodo di indagine scientifica e, per dirla con Feyerabend, assolutamente inefficienti per l'avanzamento della conoscenza e la scoperta di nuove tecnologie. Giustamente l'autore nota che il coraggio di sperimentare idee nuove e il rischio di errore sono il sale della ricerca, come sono il fondamento di ogni artigianato creativo, e su questo sembra sia d'accordo anche Tommaso d'Aquino: "Se la prima preoccupazione di un capitano fosse di conservare la sua nave, non uscirebbe mai dal porto!".

L'impossibilità (o inutilità) di una scienza dogmatica apre il discorso sul rapporto religione-scienza, chiamando in causa l'apparente religiosità di numerosi scienziati (argomento che, a dire il vero, interessa assai più i credenti non scienziati che gli scienziati non credenti). Due premesse: la prima è che esistono religioni dogmatiche e religioni non dogmatiche. Che uno scienziato ebreo o protestante si professi credente o "avowed atheist" come Richard Feynman è

normale e irrilevante. Per un cattolico la cosa può essere più complessa, presumendo che uno scienziato possa avere difficoltà a convivere con “verità” dogmatiche. Le cose vere non sono oggetto di fede ma di conoscenza. Il credere esprime il dubbio (credo che domani pioverà). Credere in una verità (di fede) ha come opposto conoscere l’incerto – due ossimori complementari. Ancora peggio era il “credo quia absurdum” di Tertulliano, perché sapeva di rinuncia alla logica e al buon senso per non finire arrostiti in piazza.

Qui occorre forse risalire alla comune origine di religione e scienza: tutti gli animali superiori memorizzano relazioni di causa ed effetto (o meglio, le cause che producono effetti dannosi o vantaggiosi), puro meccanismo evolutivo finalizzato alla sopravvivenza. L’impossibilità di conoscere la causa di certi effetti dannosi (un uragano) o vantaggiosi (un raccolto abbondante), nella speranza di prevenirli o promuoverli, genera senso di insicurezza e timore, quindi uno stato nevrotico, individuale e/o collettivo. Religione prima, analisi scientifica poi, da sempre cercano una soluzione allo stesso problema per vie diverse: o personificando le cause per potere stabilire un rapporto con esse (in genere di sudditanza e per il tramite di sacerdoti-portavoce), o cercandole nella natura (attraverso un’attenta osservazione e registrazione delle concomitanze, ecc.). I meccanismi della natura e i modi per correggerla emergono dall’esperienza artigianale (effetti del calore, del vapore, moto dei fluidi, proprietà dei metalli, resistenza e lavorazione dei materiali, ecc.). Da qui l’origine comune di scienza e religione, e l’originaria alta finalità di entrambe.

L’artigianato e le relative tecnologie per la produzione di beni materiali marcano il passo del processo di civilizzazione: essi sono dalle origini scienza a tutti gli effetti, generando conoscenze trasmissibili e fruttando migliori condizioni di vita. D’altro canto l’elargizione di apparente sicurezza attraverso rituali e il riconoscimento dell’autorità della classe sacerdotale hanno inevitabilmente trasformato alcune religioni in forme o strumenti di potere, dotati di un apparato ideologico essenzialmente (e necessariamente) dogmatico. La natura intrinsecamente evolutiva della scienza, fondata sull’accumulo irreversibile delle conoscenze, ha portato a una progressiva erosione delle credenze religiose per sostituirle con certezze scientifiche. I filosofi, della scienza e non, si arrovellano su cosa si

gnificchi verità scientifica, visti i suoi limiti di fronte all'immensità dell'ignoto, e l'inevitabile possibilità che sia migliorata, se non sostituita da nuove conoscenze. Ma è un fatto che queste verità con la "v" minuscola, pur nella loro precarietà, ci hanno dato qualche certezza: per esempio che è la Terra a girare intorno al sole e su se stessa, che la luce è una radiazione elettromagnetica, che molte malattie si possono curare con certi farmaci assai meglio che con i sortilegi, che oggi si vive molto più a lungo, e probabilmente meglio. Ma siccome l'ignoto è incommensurabile e si espande insieme al crescere delle conoscenze, resta la questione del rapporto scienza-religione, nell'ipotesi che questa possa rassicurarci laddove quella non ci può aiutare.

Questa complementarità dovrebbe bastare a tenere gli ambiti separati. Un problema semmai si pone con la religione dogmatica, poiché tra questa e la scienza intercorre un'inversione di ruoli: nella prima l'uomo si pone al servizio di un'idea, nella seconda è l'uomo che pone le idee al suo servizio. In sé l'idea cui una persona si sottomette può essere nobilissima o disumana, e uno scienziato che formula idee e teorie ha piena facoltà di porle (porsi) al servizio delle sue convinzioni e dell'istituzione in cui crede. Questo non riguarda la professionalità dello scienziato, ma la sua reponsabilità. Osservo che la fede nei dogmi non è altro che fiducia in chi li promulga e può ben disgiungersi dalla fede in una divinità, almeno quanto la scienza dalla religione. Un sillogismo del tipo "A afferma che $B = C$, A afferma d'essere infallibile, ergo $B = C$ " non è roba con cui uno scienziato possa convivere, ancor meno può porsi lui medesimo su questa posizione. Le teorie scientifiche, per quanto sostenute dalla sperimentazione, non dovrebbero mai pretendere di offrire visioni dogmatiche del mondo ma restare quello che sono: strumenti per comprendere la natura, prevedere da questa comprensione cose nuove e tradurle in benefici materiali (tecnologia) e immateriali (arte e conoscenza) per la società. Una *Weltanschauung*, benché espressa sovente da intellettuali di spicco e corsivisti, è in realtà un bene comune e diffuso che nasce spontaneamente in una società moderna democratica fondata sulla conoscenza, la buona istruzione e il rapporto di fiducia con la scienza. A questo giova la divulgazione scientifica, posto che il suo primo obiettivo non sia il difficilissimo

compromesso tra rigore e comprensibilità ma il creare fiducia nella scienza e nel lavoro degli scienziati, nella consapevolezza dei loro limiti. Limiti nondimeno destinati ad allargarsi, secondo quella fiducia proiettata nel futuro dal motto hilbertiano “Wir müssen wissen, wir werden wissen”: ciò che oggi non conosciamo o non sappiamo fare, domani lo sapremo e lo faremo.

Lo scienziato-artigiano, quale Carlo giustamente si professa, ha dunque radici profonde che precedono ogni tentativo di formalizzazione, soprattutto in quella somiglianza all’artista: la bottega simile a quella del Verrocchio è l’ambito nel quale lo scienziato si muove meglio, sia in termini di produzione della conoscenza (ricerca) che della sua trasmissione (scuola). Per questo ricerca e insegnamento sono e devono rimanere indissolubili. Dalla bottega di Carlo (come del resto dalla mia) sono usciti eccellenti scienziati, dei quali siamo orgogliosi almeno quanto delle nostre pubblicazioni. È perciò curioso e interessante che il suo umanesimo filosofico lo porti a confrontare il suo (nostro) *modus operandi* con il pensiero, sovente divergente, di vari filosofi della scienza come Duhem, Popper, Feyerabend, Kuhn, Quine, Lakatos, e altri ancora, trovandovi importanti spunti di riflessione.

Difficilmente questi potrebbero riguardare una consolidata ed efficace pratica (artigianale appunto), quanto piuttosto la collocazione dello scienziato nella società, il suo ruolo e le sue responsabilità. In realtà le posizioni di Feyerabend contro il metodo inteso come somma di regole a priori e contro il falsificazionismo di Popper contengono fondamentali insegnamenti. Ad esempio il “theory testing is comparative”, ossia il *pluralismo*: per quanto buona possa sembrare la tua teoria, torna alla lavagna e costruisci più alternative; può essere l’unica via per scoprire che la tua idea iniziale era sbagliata. James R. Brown⁵ considera quell’idea uno dei capolavori della filosofia della scienza, pur ravvisandovi i prodromi della svolta radicale e anarchica di Feyerabend che portò al celebre *Against Method* del 1975⁶. Feyerabend ha

5. James R. Brown, *Who Rules in Science?*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.), 2002.

6. Paul Feyerabend, *Against Method*, 4th ed., Verso Books, Londra, 2010; trad. it. *Contro il metodo*, 7^a ed., Feltrinelli, Milano, 2013.

ragione quando sostiene che il metodo prestabilito a priori impedisce il progresso scientifico, ma nella pratica il metodo non è un comandamento a priori bensì uno strumento. Esso emerge come parte integrante del procedimento risolutivo di un problema dato. Feyerabend approdò a Berkeley mentre Feynman al Caltech e Schwinger ad Harvard, sulle orme di Sin-Itiro Tomonaga, erano alle prese con l'elettrodinamica quantistica, con i suoi infiniti e la rinormalizzazione. All'inizio la teoria sembrava costellata da varie inconsistenze e Feyerabend non sembrava disposto a distinguere tra teorie la cui verità poggiava sull'evidenza e teorie semplicemente promettenti. Osserva James Brown⁷ che "molto della forza di persuasione di Feyerabend consisteva nell'offuscare ciò che è implicitamente evidente nella pratica degli scienziati". Meno diplomaticamente Feynman riteneva che "la filosofia della scienza fosse utile agli scienziati circa quanto l'ornitologia lo è agli uccelli".

Colpisce anche l'asserzione di Feyerabend che, in quanto empirista, continua a considerare lo schema concettuale della scienza uno strumento per predire l'esperienza futura alla luce di quella passata, dove gli oggetti fisici sono introdotti dal punto di vista concettuale come utili intermediari, non tramite una definizione in termini di esperienza, ma semplicemente come postulati irriducibili. Perché gli oggetti fisici sarebbero "presupposti culturali"? Torneremmo a Kant se per presupposto culturale non intendessimo ciò che Poincaré chiamava intuizione in quanto esperienza inconscia, peraltro proprio parlando di metodo⁸. La rivoluzione di inizio Novecento non consente di considerare gli oggetti fisici come presupposti culturali, vedi il citato libro di Bridgman del 1927. Ma forse è proprio il pensiero di Poincaré che più avvicina il lavoro del ricercatore a quello dell'artista, concependo l'invenzione come la capacità di riunire in modo utile elementi distanti. Ciò grazie all'intuizione, ossia quell'improvvisa illuminazione "segno manifesto di un lungo lavoro inconscio... Tra le numerosissime combinazioni che l'io subliminale ha formato alla cieca, quasi tutte sono prive di interesse

7. James R. Brown, *op. cit.*

8. Henri Poincaré, *Science et méthode*, 1908; trad. it. *Scienza e metodo*, a cura di C. Bartocci, Einaudi, Torino, 1997.

e senza utilità... Soltanto alcune di esse sono armoniose, utili e belle insieme”. Fondamentali in Poincaré sono le convenzioni, il rasoio di Occam e il criterio estetico. In fondo anche Bohr procede *à la Poincaré*. L'autore coglie una suggestiva e ben fondata analogia tra il passaggio dalla fisica classica alla nuova fisica e quello contemporaneo dall'arte figurativa all'arte astratta. È un fatto che meccanica quantistica e relatività, al pari dell'arte moderna, ci hanno traghettato dalla realtà tangibile a mondi nuovi assai più vasti, che possiamo solo comprendere attraverso equazioni e modelli, simili nella loro funzione ai segni dell'arte moderna. Nella teoria di campo quantistico c'è altrettanta verità quanto in Guernica o in un orizzonte di Mark Rothko. Oppenheimer alla domanda di una signora sulla verità, rispose che c'è più verità in un quintetto di Mozart che in una teoria di fisica! Pur con riferimenti diversi, sto dunque con l'umanesimo filosofico di Carlo e con la conclusione di Daniel Dennett: non esiste scienza privata della filosofia, al massimo può esistere una scienza dove il bagaglio filosofico è stato portato a bordo senza alcun esame preliminare⁹. Credo sia il caso di Feynman e comprendo bene quanto siano sgraditi i controlli di polizia!

Terminato *l'esame preliminare*, l'autore entra nel suo campo d'azione con un'eccellente discussione sulle nanotecnologie. “Finalmente qualcosa di utile!” direbbe il burocrate del ministero, immaginando che la fisica dei fondamenti sia scienza inutile. Ma è proprio Feynman, che dopo il Progetto Manhattan s'era dedicato alla “scienza inutile”, il profeta delle nanotecnologie e della computazione quantistica! La discesa dal macroscopico al mondo nano-metrico (*top-down*) è gradualmente integrata, se non sostituita, dalla salita dal mondo atomico alla complessità delle nanostrutture (*bottom-up*). Un impressionante feed-back: con la tecnologia top-down nascono i supercomputer e i super-computer consentono, bottom-up, il calcolo dagli atomi ai sistemi nanometrici. Teoria ed esperimento si ri-congiungono nella sfera quantistica delle nanotecnologie, come dal

9. Daniel C. Dennett, *Darwin's Dangerous Idea*, Simon & Schuster, New York, 1995; trad. it. *L'idea pericolosa di Darwin*, a cura di S. Frediani, Bollati Boringhieri, Torino, 2004). Per l'interessante disputa con Stephen Jay Gould si veda: https://en.wikipedia.org/wiki/Darwin's_Dangerous_Idea.

tempo di Galilei erano congiunti nel mondo macroscopico della fisica classica! Viva dunque la scienza inutile! Imre Lakatos pretendeva che le istituzioni “dovessero essere in grado di classificare i programmi di ricerca in progressivi e regressivi e questi ultimi fossero esclusi dai finanziamenti pubblici”. Ma la scienza è entropia negativa. Come sostiene Poincaré, essa mette ordine nel disordine, può solo crescere. Il termine “regressivo” difficilmente si addice alla scienza come libera attività dell’intelletto e può solo trovare spazio nel gergo politico di un regime autoritario.

Può ben essere che Lakatos non avesse letto il celebre *Science, The Endless Frontier*, il manifesto elaborato da Vannevar Bush su richiesta del presidente Roosevelt e trasmesso a Truman il 25 luglio 1945 (nove giorni dopo il primo test nucleare ad Alamogordo). Con esso si dimostrava la necessità da parte dell’amministrazione federale di sostenere la ricerca scientifica, non solo militare, ma anche e soprattutto quella fondamentale, per assicurare alla nazione una crescente prosperità e il primato economico in un mondo ridisegnato della seconda guerra mondiale appena terminata. Non è un caso che solo di recente quel manifesto sia stato tradotto in italiano per iniziativa di Pietro Greco¹⁰. Ancor più che il manifesto di Vannevar Bush, ampiamente conosciuto dalla comunità scientifica nella sua versione originale, merita evidenza l’eccellente saggio introduttivo scritto dallo stesso Greco, che riporta alla nostra memoria (forse Carlo è ancora giovane per ricordarlo) il sostegno che gli uffici europei della marina e dell’aviazione americane offrivano a gruppi universitari per la ricerca di base. “Il rigoroso rispetto dell’autonomia della scienza” da parte della US Navy si riflette nelle parole che il Cap. Conrad, Direttore della Divisione Pianificazione dell’Office Naval Research, pronuncia il 27 ottobre 1946 all’Università dell’Illinois di Urbana: “Da ciò che ho detto dovrebbe risultare chiaro che è contraddittorio parlare di direzione e di controllo della ricerca. Non possiamo costruire una mappa di una regione inesplorata. È appropriato e necessario pianificare lo sviluppo del lavoro, ma un ricercatore deve seguire solo le sue spinte più interne...”.

10. Vannevar Bush, *Manifesto per la rinascita di una nazione. Scienza, la frontiera infinita*, con una introduzione di Pietro Greco, Bollati Boringhieri, Torino, 2013.