

DISS. ETH NO. 22660

The Complex Systems of Science

Computer simulations, laboratory and online experiments.

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

Stefano Balietti
MSc, Università Politecnica delle Marche

born on 26.02.1983
citizen of Italy

accepted on the recommendation of

Examiner: Prof. Dr. Dirk Helbing – ETH Zürich
Co-Examiner: Prof. Dr. Robert Goldstone – Indiana University
Co-Examiner: Prof. Dr. Andreas Flache – University of Groningen

Abstract

Science is the human endeavor that aims at finding answers to the most pressing real-world problems of our century, such as climate change, hunger, clean-energy production, etc. Instead, this dissertation is not attempting to solve any of these. This dissertation embarks on what is arguably an even more fundamental challenge: investigating under which conditions science can best fulfill its task. In fact, science is now carried out in settings that are very far away from its inception in Western countries. For example, competition has dramatically increased, the average size of scientific teams has grown, and the communication patterns have changed completely with the advent of the email and Internet. Nonetheless, other key institutions of the scientific enterprise have remained essentially unchanged for almost the same amount of time. These are: the reward system and the publication system. Due to the coexistence of old institutions and new technological means, and new productivity goals within already established scholarly traditions, a number of tensions originated with the potential to slow down the rate of scientific progress. This thesis identifies three dichotomies originating tensions in modern science: (i) *unification vs fragmentation*, (ii) *competition vs cooperation*, and (iii) *meritocracy vs stratification*. It investigates the reasons behind them, and elaborates on the consequences they bear for the overall goal of the scientific enterprise, i.e. the production of unbiased scientific knowledge. This dissertation aims at answering questions such as: Why do disciplinary fragmentation and slower scientific progress often seem to coincide? Does competition in the peer review system promote or discourage innovation? Does competition improve or hamper the ability to identify valuable scientific contributions? If the production of scientific knowledge can be modeled akin to the provision of a public-good, how can we increase the incentives to contribute? To do so, this Ph.D. thesis employs methods from the emerging field of computational social science, making use of computer simulations, laboratory and online experiments to investigate how individual micro-motives of scientists can have an impact on outcome variables at the macro-level of science as such. Furthermore, this dissertation also develops a strong methodological focus. In particular, it contains an essay on “how to do agent-based modeling” where the pro and cons of computer-based social simulations are discussed. Moreover, it develops a complete new software framework to conduct behavioral research online called “nodeGame”. Both methodological contributions have been prerequisite to the achievement of substantive research insights. Finally, this dissertation ends with a visionary contribution entitled “How to Create an Innovation Accelerator,” highlighting some of the problems of the current scholarly publication system and proposing an array of possible technological solutions.

Abstract

La scienza è l'attività umana alla ricerca delle risposte ai problemi più urgenti del nostro secolo: il cambiamento climatico, la fame nel terzo mondo, la produzione di energia pulita, eccetera. Questa tesi di dottorato non prova a risolvere nessuno di questi problemi. Questa tesi si cimenta in una sfida che si potrebbe definire ancora più fondamentale: capire attraverso quali condizioni l'attività scientifica può essere svolta nel migliore dei modi. Infatti, la scienza oggi è condotta in un'ambiente che è completamente diverso da quello in cui si è sviluppata inizialmente nei paesi occidentali. Per esempio, oggi c'è molta più competizione, la dimensione dei gruppi di ricerca è cresciuta, e le possibilità di comunicazione sono cambiate radicalmente con l'avvento di Internet e email. Ciononostante alcune istituzioni chiave del sistema scientifico sono rimaste sostanzialmente le stesse durante tutti questi anni. Esse sono: il sistema di riconoscimento e attribuzione dei meriti scientifici e il sistema di pubblicazione scientifica. Per via della coesistenza di vecchie istituzioni con nuovi mezzi tecnologici, e di nuovi target di produttività all'interno di tradizioni accademiche ben sviluppate, si sono venuti a creare dei nuovi contrasti che rischiano di rallentare il progresso scientifico. Questa tesi individua tre dicotomie che stanno creando tensioni nella scienza moderna: (i) unificazione vs frammentazione, (ii) competizione vs collaborazione, e (iii) uguaglianza vs meritocrazia. Questa tesi esamina le condizioni alla base di queste dicotomie e elabora quali conseguenze esse abbiano per il fine ultimo della scienza: la creazione di conoscenza obbiettiva e imparziale. Questa tesi di dottorato si propone di dare risposte alle seguenti domande: Perché le discipline più frammentate tendono ad esibire un minore livello di progresso scientifico? La competizione nel peer review ("revisione dei pari") favorisce o limita l'innovazione scientifica? La competizione migliora o peggiora l'abilità di distinguere tra lavori scientifici di qualità e non? Se la produzione di nuova conoscenza scientifica può essere assimilata alla realizzazione di un bene pubblico, come si possono aumentare gli incentivi alla sua contribuzione? Questa tesi di dottorato impiega metodologie prese in prestito dall'emergente campo della computational social science ("scienza sociale computazionale"), quali simulazioni al computer e esperimenti in laboratorio e online, per investigare come le motivazioni individuali di ciascun scienziato impattino ad un livello aggregato su macro-variabili del sistema scienza. Inoltre, questa tesi di dottorato sviluppa anche un proprio tema metodologico al suo interno. Infatti contiene un saggio su come fare agent-based modeling ("modellazione ad agenti") in cui sono discussi i vantaggi e gli svantaggi della simulazione al computer di sistemi sociali. In aggiunta, la tesi sviluppa un nuovo ambiente di programmazione per esperimenti sociali da effettuare online chiamato "nodeGame". Entrambe i contributi metodologici sono stati importanti prerequisiti per il raggiungimento degli obbiettivi di ricerca. Infine, questa tesi di dottorato si conclude con un

Abstract

contributo speculativo intitolato “How to Create an Innovation Accelerator” (“Come Creare un Acceleratore per l’Innovazione”), che illustra i problemi principali del sistema di pubblicazione scientifico, e propone una serie di soluzioni concrete di stampo prettamente tecnologico.