



**FORUM  
DISUGUAGLIANZE  
DIVERSITÀ**

# **MATERIALI**

**15 PROPOSTE PER  
LA GIUSTIZIA SOCIALE**

**Ispirate dal Programma  
di Azione di Anthony Atkinson**

# L'impatto sociale della produzione di scienza su larga scala: come governarlo?<sup>1</sup>

Massimo Florio<sup>1</sup> e Francesco Giffoni<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Università degli Studi di Milano

<sup>2</sup>CSIL - Centre for Industrial Studies, Milano e Università degli Studi di Milano

Seminario: *Cambiamento tecnologico e impatto sociale: strumenti per riprenderne il governo: Verso un Programma Atkinson per l'Italia.*

L'Aquila 15 Novembre 2018.

Questa versione 06 Febbraio 2019

## 1. Introduzione

Il termine 'Big Science' appare forse per la prima volta in un celebre articolo su Science del fisico statunitense A.M. Weinberg (1961). Weinberg dirigeva all'epoca uno dei National Laboratories degli USA, eredi del progetto Manhattan, a sua volta l'archetipo della mobilitazione su larga scala della scienza. L'obiettivo di quel progetto era di tradurre le conoscenze sulla fissione dell'atomo, in particolare i modelli sviluppati negli anni '30 da Enrico Fermi ed altri fisici, in bombe atomiche da sganciare sulla Germania di Hitler. Caduta la Germania, le bombe furono invece sperimentate a Hiroshima e Nagasaki, inaugurando l'epoca della corsa agli armamenti nucleari. Nel progetto Manhattan furono coinvolti 130.000 fra tecnici, scienziati e operai in diversi siti<sup>2</sup>. Vari di questi siti sono tuttora in funzione, gestiti dall'Office of Science del Department of Energy (DoE) che amministra sia l'arsenale nucleare sia la ricerca in fisica, computer science, ed in altre aree scientifiche. Weinberg sosteneva che la Big Science stesse rovinando la scienza, sconvolgendo la finanza pubblica e che le esplorazioni spaziali e la fisica delle alte energie non

---

## <sup>1</sup> Ringraziamenti

Il presente lavoro si base in parte sul libro Florio M. (2019) "*Investing in Discovery. A Cost-Benefit Analysis Perspective on Science and Research Infrastructures*" in corso di pubblicazione, (MIT Press); su un altro precedente breve lavoro: Florio (2017) "*Un'agenda per lo Stato imprenditore di conoscenza*" in Italiani Europei, n.2; e su materiali da progetti di ricerca presso DEMM e CSIL. Le ricerche su alcuni temi qui trattati sono state sostenute da BEI, CERN, Università degli Studi di Milano, Agenzia Spaziale Italiana, Commissione Europea (DG Regio), Programma Horizon 2020. Ringraziamo per i commenti su una presentazione preliminare i partecipanti al seminario presso la Fondazione Basso, Roma 4 Luglio 2018 e presso GSSI, L'Aquila 15 Novembre 2018, ed in particolare Giovanni Dosi e Andrea Filippetti.

<sup>2</sup> Hughes (2002), Gosling (1999), Galison and Hevly (1992).

meritassero alcuna priorità rispetto ad altri bisogni dell'umanità più rilevanti e urgenti. Paragonava gli enormi missili, gli enormi acceleratori di particelle e i reattori nucleari a imprese monumentali realizzate per la gloria dei governanti, come le piramidi in Egitto o le cattedrali nel Medioevo.<sup>3</sup>

Un altro classico esempio di questo tipo di Big Science, intimamente connessa al settore militare, è il programma lunare Apollo della NASA (Apollo Lunar Program) durante la prima fase della guerra fredda. L'obiettivo del Programma Apollo (1961-1972) è desumibile da un famoso discorso che il presidente J.F. Kennedy tenne al Congresso il 15 Maggio 1961<sup>4</sup>:

[ If we are to win the battle that is now going on around the world between freedom and tyranny, the dramatic achievements in space which occurred in recent weeks should have made clear to us all, as did the Sputnik in 1957, the impact of this adventure on the minds of men everywhere, who are attempting to make a determination of which road they should take. [...] I believe that this nation should commit itself to achieving the goal, before this decade is out, of landing a man on the moon and returning him safely to the earth. [...] But in a very real sense, it will not be one man going to the moon, [...], it will be an entire nation. [...].

La missione fu portata a termine dall'Apollo 11 nel 1969 ad un costo totale, rivalutato a prezzi costanti 2010, intorno ai 110 miliardi di dollari (Lafleur, 2010). Il programma coinvolse migliaia di scienziati e un numero elevato di imprese fornitrici operanti nel campo aerospaziale e della difesa. Secondo alcune stime, alla fine degli anni '60, il programma Apollo 11 aveva finanziato 400.000 posti di lavoro e coinvolto 20.000 imprese (Scott e Jurek, 2014).

Il programma Apollo e il progetto Manhattan si fondavano su quattro pilastri principali: espliciti obiettivi legati alla difesa e quindi forte coinvolgimento del complesso militare-industriale; ottica nazionale, con limitato coinvolgimento di altri paesi (UK e Canada); segretezza dell'attività di ricerca e dei relativi risultati; reclutamento delle migliori menti ma solo dopo averne verificato la lealtà politica.

Quasi contemporaneamente si stava affermando un modello molto diverso di produzione di scienza su larga scala. Tra il 1948 e il 1950 (circa dieci anni dopo il progetto Manhattan e dieci anni prima del programma Apollo) cominciò a diffondersi negli ambienti scientifici di vari Paesi europei l'idea di creare un laboratorio comune per la ricerca nucleare di base, dotandolo di apparati sperimentali troppo costosi per singoli stati. L'obiettivo era fondare un centro europeo all'avanguardia per la ricerca nella fisica delle particelle al fine di ridare all'Europa il primato nella fisica, in quegli anni detenuto dagli Stati Uniti, ma escludendo statutariamente le finalità militari. Nel settembre 1954 fu ratificata da 12 Paesi dell'Europa Occidentale la convenzione che segnava la nascita ufficiale del CERN a Ginevra (Consiglio Europeo per la Ricerca Nucleare). Il suo primo acceleratore di particelle, il Sincrociclotrone, fu costruito nel 1957. La dimensione era -per statuto-

<sup>3</sup> Da Weinberg (1961): "The huge rockets, huge particle accelerators, the high-flux energy reactors" are the 'monumental enterprises' of our days, much like the pyramids in Egypt in past societies or the cathedrals in the Middle Ages were 'extraordinary exertions of their rulers'".

<sup>4</sup> Per ulteriori dettagli si veda [https://www.nasa.gov/vision/space/features/jfk\\_speech\\_text.html](https://www.nasa.gov/vision/space/features/jfk_speech_text.html). Ultimo accesso 29 ottobre 2018.

internazionale (istituzione intergovernativa) e quindi il suo finanziamento era condiviso dagli Stati membri. Il reclutamento di scienziati non era legato a controlli di lealtà politica. L'apertura e la disseminazione della ricerca scientifica e dei risultati era la norma; mentre la segretezza e la censura dei risultati erano praticamente inesistenti. Fin dai primi giorni, le priorità di ricerca, l'organizzazione e le decisioni di investimento sono state profondamente influenzate dal consenso di una comunità scientifica globale di fisici delle particelle, anche al di fuori dell'ambito del personale del CERN o del governo dei suoi Stati membri. Inoltre, e in modo cruciale, il CERN fu concepito come una piattaforma: i suoi scienziati e ingegneri progettano la costruzione e il funzionamento di acceleratori di particelle complessi, mentre gli esperimenti sono ideati e gestiti da collaborazioni internazionali, ciascuna con una propria organizzazione e regole (Boisot et al., 2011). Oggi, il CERN gestisce il Large Hadron Collider (LHC), l'acceleratore di particelle più grande e potente del mondo (un anello di 27 km di circonferenza cento metri sottoterra che ospita tecnologie di frontiera) il cui costo in termini di valore attuale (1993-2025) è stato stimato intorno ai 13.5 miliardi di euro (Florio et al., 2016).<sup>5</sup> Gli Stati Uniti hanno da oltre venti anni perso il primato nel campo, avendo nel 1993 abbandonato il progetto del Superconducting Super Collider, un acceleratore di 87 Km di circonferenza, dopo avere già speso 2 miliardi di dollari, e di fronte a un costo di costruzione lievitato a oltre 10 miliardi.<sup>6</sup>

Quindi, all'indomani della seconda guerra mondiale e durante la seconda metà del ventesimo secolo sono coesistiti due modelli di Big Science, il modello 'Manhattan' (con la sua controparte in URSS e altrove) e quello 'Ginevra' (con numerose altre infrastrutture di ricerca che vi si ispirano), l'uno nazionalistico e legato a obiettivi militari, l'altro cosmopolita e legato solo alle domande delle comunità scientifiche.

In questo lavoro, cercheremo di rispondere a tre domande:

- Che cosa esattamente differenzia il CERN e il nuovo modello di produzione di scienza su larga scala dai modelli che si ispirano ai progetti Apollo 11 e Manhattan?
- Qual è l'impatto sociale del modello 'Ginevra' oggi largamente diffuso?
- Come si possono governare le conseguenze sotto il profilo distributivo di questo impatto?

Sosterremo, inoltre, tre tesi:

- si è creata una tensione fra il modello di open science e la appropriazione delle conoscenze da parte di grandi imprese private. Ciò ha conseguenze per la disuguaglianza sociale, in

<sup>5</sup> Questo valore non include il costo degli scienziati delle collaborazioni internazionali.

<sup>6</sup> La storia di questo fallimento è raccontata magistralmente da Riordan et al (2015), che identificano fra le cause della catastrofe del progetto l'incapacità di coinvolgere altri Paesi e la tensione fra comunità scientifica e complesso militare industriale USA.

quanto genera rendite di monopolio (o di oligopolio) in sostanza espropriando i cittadini di gran parte dei benefici derivanti dalla produzione di beni pubblici da loro stessi finanziata

- la tassazione degli extra-profitti derivanti dalla appropriazione della conoscenza come bene pubblico non è efficiente per l'estrema difficoltà di scorporare nei bilanci delle imprese la componente di rendita derivante dalla ricerca pubblica da quella derivante da innovazioni a valle sostenute da R&S privata, e non è praticabile per la mobilità transnazionale del capitale di questo tipo di imprese
- il meccanismo di fondo che genera la disuguaglianza potrebbe essere corretto con un nuovo tipo di impresa pubblica come polo della creazione di conoscenza. Questo tipo di impresa dovrebbe gestire come proprietà sociale il capitale intangibile derivante dalla ricerca pubblica, facendo affluire i proventi del proprio portafoglio di progetti in un fondo destinato sia a reinvestire nella stessa ricerca sia a programmi sociali di promozione della uguaglianza nell'accesso alle risorse della scienza.

Ci preme dire subito che tutte e tre le tesi sono in una certa misura congetturali, e che per quanto riguarda i meccanismi di governo dell'impatto sociale delle grandi infrastrutture di ricerca ci muoviamo su un terreno inesplorato. Per cui questo lavoro offre solo un insieme di spunti di discussione.

Il lavoro si articola come segue: La sezione 2 presenta i due modelli di produzione di conoscenza su larga scala; la Sezione 3 descrive l'impatto sociale del "nuovo modello" e introduce le questioni critiche legate alla disuguaglianza e al profilo distributivo dei benefici; una possibile soluzione di intervento pubblico nella forma di organizzazioni 'mission-oriented', è proposta nella sezione 4. La Sezione 5 conclude.

## 2. Due modelli di produzione di scienza su larga scala

Mentre Weinberg (1961) usava il termine Big Science con un'accezione negativa e che comprendeva entrambi i modelli di produzione di scienza, due anni dopo, lo storico della scienza e fisico Derek de Solla Price pubblicò un influente libro dal titolo '*Little Science, Big Science*' (de Solla Price, 1963) in cui enfatizzava il ruolo della Big Science quale fattore chiave nel processo esponenziale di creazione di nuova conoscenza avvenuto dopo la seconda guerra mondiale.<sup>7</sup> Il titolo della versione aggiornata e postuma del libro (de Solla Price, 1986) fu cambiato in '*Little Science, Big Science ... and Beyond*'. Cosa c'è oltre la Big Science? Una possibile risposta potrebbe essere il

---

<sup>7</sup> Il termine Big Science fu coniato per descrivere il carattere e la complessità su larga scala della scienza moderna (i progetti di ricerca ad alta intensità di capitale, l'elevato contenuto tecnologico e le sfide ingegneristiche che essi ponevano) rispetto alla vecchia 'Little Science'.

nuovo paradigma di produzione di conoscenza offerto dalle (grandi) infrastrutture di ricerca (IR).

La Commissione Europea (EC) (2017: 4)<sup>8</sup> definisce le IR:

Strutture, risorse e servizi che sono usati dalle comunità di ricerca per condurre ricerca e promuovere l'innovazione nei rispettivi settori... Esse possono essere utilizzate al di là della ricerca, ad esempio per scopi educativi o di servizio pubblico. Esse comprendono: attrezzature scientifiche di primaria importanza o serie di strumenti, risorse basate sulla conoscenza quali collezioni, archivi o dati scientifici, infrastrutture in rete quali sistemi di dati e calcolo e reti di comunicazione e qualsiasi altra infrastruttura di natura unica ed essenziale per raggiungere l'eccellenza nella ricerca e nell'innovazione. Tali infrastrutture possono essere "in un unico sito", "virtuali" o "distribuite".

L'idea chiave è che queste infrastrutture hanno l'obiettivo principale di creare conoscenza, la quale deve potere essere condivisa tra molteplici possibili utenti e, nel caso, contribuire all'offerta di servizi di pubblica utilità. Il concetto di Big Science si è quindi evoluto in almeno due direzioni. La prima concerne il concetto di infrastruttura intesa nell'accezione più ampia come strumento multi-utente. Il secondo è il concetto di apertura e assenza di censura rispetto all'attività di ricerca e disseminazione dei risultati in linea con la visione di *open science* (come per esempio l'European Open Science Cloud).<sup>9</sup>

Possiamo quindi distinguere due modelli di produzione di scienza su larga scala. Il modello tradizionale top-down, che chiameremo per semplicità modello 'Manhattan', e il nuovo modello bottom-up, nel senso di condivisione di obiettivi e risultati, che caratterizza le moderne IR, compreso il CERN.<sup>10</sup> Chiameremo il secondo modello 'Ginevra'. I pilastri su cui si fonda il modello Manhattan sono principalmente quattro:

- Stretta relazione, sia diretta che indiretta, tra avanzamenti tecnici e scientifici e i Ministeri di Difesa nazionali, con il coinvolgimento del complesso militare-industriale;
- Disponibilità di generosi finanziamenti pubblici derivanti da tale relazione e dalla proprietà dei laboratori scientifici saldamente nelle mani dei governi nazionali;
- Segretezza sulla maggior parte delle attività di ricerca, censura dei risultati ed esposizione selettiva alla stampa (spesso in funzione propagandistica ed apologetica);
- Reclutamento delle migliori menti in circolazione, ma solo dopo averne attentamente valutato la lealtà politica.

Secondo Hughes (2002: 13), le cinque '*M della Big Science*' (e di questo modello) erano "*money, manpower, machines, media, and military*".

<sup>8</sup> Si veda l'articolo 2, comma 6 del Regolamento (UE) n. 1291/2013 del parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2013 che istituisce il programma quadro di ricerca e innovazione (2014-2020) - Orizzonte 2020 e abroga la decisione n. 1982/2006/CE.

<sup>9</sup> <https://ec.europa.eu/research/openscience/index.cfm?pg=open-science-cloud>

<sup>10</sup> Il CERN è stato di fatto la prima infrastruttura di ricerca intergovernativa finanziata dagli Stati Membri (Hallonsten, 2006; Martin and Irvine, 1984).

Concettualmente e operativamente distante dal modello Manhattan, il modello Ginevra affonda le sue radici in un nuovo paradigma che vede l'infrastruttura di ricerca come un'impresa collettiva che opera su larga scala, progettata e gestita con l'obiettivo di avanzare la conoscenza e i relativi servizi per un vasto numero di utenti. L'infrastruttura rappresenta la chiave di volta di comunità scientifiche dinamiche e cosmopolite che, collaborando, rimescolano i confini intellettuali tra nazioni, università, istituti di ricerca e domini scientifici. Le caratteristiche essenziali del modello Ginevra sono:

- *Identificazione delle priorità all'interno di una comunità scientifica.* Mentre l'approccio top-down del modello Manhattan fissa le priorità di investimento in base alle esigenze o ambizioni militari dei singoli governi nazionali, i progetti legati alle IR sono il risultato di un processo di consultazione tra finanziatori, decisori politici e la comunità scientifica pertinente, spesso in una prospettiva internazionale. Tipicamente, questo processo è formalizzato da un sistema di gruppi e comitati che concordano su 'roadmaps' e su progetti prioritari come quelli selezionati da ESFRI (2016) per conto della Commissione Europea, con un ruolo importante di comunità scientifiche 'integrate' che portano alla costituzione di consorzi transfrontalieri ERICs.<sup>11</sup> Ad esempio, la creazione di consorzi e reti transfrontaliere è un requisito fondamentale per le candidature del programma Orizzonte 2020 dell'UE.
- *Coalizioni internazionali di finanziatori.* Le IR sono spesso strutture intergovernative finanziate combinando risorse internazionali (fondi governativi), contributi monetari da associazioni di beneficenza e altri investitori privati. Tale tipologia di finanziamento rende la pianificazione della spesa, la contabilità dei costi e gli accordi giuridici più complessi rispetto alla Big Science tradizionale, che tipicamente si basa su trasferimenti dal bilancio nazionale. Anche quando un governo nazionale è il principale finanziatore, di solito non è l'unico proprietario del progetto.
- *Accessibilità flessibile alle risorse comuni da parte di più utenti.* Le IR possono essere strutture fisiche localizzate in un unico sito (sincrotroni) o distribuite (satelliti, radiotelescopi, navi oceanografiche, strumenti per la conservazione e la restaurazione del patrimonio artistico e culturale) o strutture virtuali (cloud come DARIAH<sup>12</sup>, CERIC-ERIC<sup>13</sup>). In ogni caso, le operazioni delle IR devono consentire il coordinamento e la sinergia di diversi progetti ricerca, a volte con requisiti di precisione molto rigidi. Questo comporta un design

<sup>11</sup> European Research Infrastructure Consortium <https://ec.europa.eu/research/infrastructures/index.cfm?pg=eric>

<sup>12</sup> <https://www.dariah.eu/>

<sup>13</sup> [//www.ceric-eric.eu](https://www.ceric-eric.eu)

unico per supportare il lavoro di grandi team, o reti di squadre più piccole coinvolte in una pluralità di progetti, allo stesso tempo e / o in sequenza.

- *Amministrazione e gestione condivisa.* Le risorse tangibili e intangibili delle IR (database, software, apparecchiature scientifiche) sono condivise da diverse comunità di scienziati e la loro proprietà è spesso diluita tra i diversi partner. Mentre i grandi laboratori tradizionali organizzati verticalmente esistevano ed esisteranno, le nuove IR richiedono sistemi di gestione peculiari che vanno dalla definizione di complesse politiche di accesso ad accordi di utilizzo degli strumenti scientifici sia tra i partner della IR e tra questi ultimi e gli utenti finali, fino alla gestione di una pluralità di progetti di ricerca spesso con finalità molto diverse tra loro.
- *Incubatore di capitale umano.* Una (grande) IR rappresenta un ambiente di apprendimento unico per studenti e giovani scienziati che beneficiano dalla condivisione di idee, risultati e collaborazioni con altri scienziati con problemi comuni o simili. Un IR può essere immaginata come un ambiente di intelligenza collettiva (Malone e Bernstein, 2015) che va oltre lo scopo di ciò che solitamente può offrire un'università.
- *Hub tecnologico.* Al fine di raggiungere i loro obiettivi e adempiere alle loro missioni, le IR operano tipicamente alla frontiera della conoscenza e questo richiede nuove tecnologie, spesso non esistenti sul mercato. L'attività di approvvigionamento coinvolge molteplici aziende e, in alcuni casi, di una catena di approvvigionamento internazionale che può essere limitata solo da principi 'di giusto ritorno' agli Stati Membri (come per esempio nel caso dell'Agenzia Spaziale Europea o il CERN).<sup>14</sup> L'esistenza di catene di approvvigionamento tecnologico internazionale è una caratteristica che si avvicina all'evoluzione del settore automobilistico o aeronautico che ha portato alla creazione di catene globali del valore. In altri casi le RI sono incorporate in strategie regionali o nazionali e devono prestare maggiore attenzione allo sviluppo territoriale, ma preservare l'eccellenza scientifica e tecnologica nella fornitura di prodotti e servizi. Nel modello Manhattan i fornitori sono selezionati invece anche in base a considerazioni di strategia militare.
- *Generatori e gestori di big data.* La quantità di dati da raccogliere, archiviare ed elaborare per supportare le scoperte scientifiche è supportata in modo critico dai progressi dell'informatica e dall'ICT. Le moderne IR sono quindi centri di informazione digitale di dimensioni senza precedenti nella storia della scienza. In alcuni casi ciò richiede approcci e

---

<sup>14</sup> Nel caso della fornitura di beni e servizi, il principio del 'giusto ritorno' stabilisce che le commesse alle imprese nazionali devono essere proporzionali alla quota di finanziamento che lo stato trasferisce alla IR. Molto spesso, questo principio è applicato anche nel caso di infrastrutture virtuali che offrono accesso transazionale alle proprie risorse.



strumenti completamente nuovi (talvolta sviluppati dalle IR medesime) per gestire diverse problematiche come l'acquisizione di dati, il filtraggio, l'archiviazione, la trasmissione e l'utilizzo. Inoltre, le IR generano notevoli esternalità perché le soluzioni adottate (software) sono disponibili gratuitamente per qualsiasi potenziale utente (non così nel modello Manhattan dove prevale la protezione di codici e dati).

- *Open science*. Tipicamente, i dati scientifici e i risultati prodotti dalle IR sono liberamente accessibili e rapidamente diffusi attraverso conferenze, preprints online, riviste e politiche di accesso sempre più flessibili (un esempio è dato da arXiv, gestito dalla Cornell University Library). In generale, il concetto di ‘*open science*’ associato alle moderne IR risponde sempre più al principio di ‘FAIR data’, cioè dati ritrovabili, accessibili, interoperabili, e riutilizzabili.<sup>15</sup> L’ICT consente alle IR di distribuire informazione online quasi in tempo reale. Questo modello implica un processo di comunicazione più rapido e accessibile rispetto alle procedure accademiche tradizionali che portano alle pubblicazioni.
- *Coinvolgimento pubblico*. La disseminazione delle informazioni inerenti all’attività di ricerca, soprattutto attraverso i social media, produce un notevole impatto sull’opinione pubblica in termini di sensibilizzazione alla ricerca scientifica e sostegno pubblico. Tale divulgazione si traduce spesso in turismo scientifico organizzato in loco e online (con milioni di visitatori dei siti delle IR e di piattaforme di *citizen-science* come Zooniverse); nascita di comunità virtuali di cittadini interessati alla ricerca scientifica in un dato campo, creazioni di film e documentari ispirati alle grandi scoperte e imprese scientifiche. Il web è inondato di notizie e commenti derivanti dai progetti più visibili, come la Stazione Spaziale Internazionale e l’LHC. La ricerca genera quindi degli effetti culturali collaterali.

La differenza tra questi due modelli di produzione di conoscenza potrebbe essere meno chiara in alcuni casi. Il budget del Department of Energy (DoE) degli Stati Uniti (circa 28 miliardi di dollari nel 2018) è suddiviso tra quattro principali aree di missione: a) sicurezza nucleare, protezione degli Stati Uniti dalle minacce nucleari e promozione della marina nucleare; b) ricerca scientifica di base; c) innovazione e sicurezza energetica; d) bonifica ambientale per soddisfare gli obblighi del progetto Manhattan, della guerra fredda e della ricerca sull’energia nucleare (DoE 2017a:1). In questo caso, per ragioni storiche, i due modelli di scienza su larga scala sono intrecciati all’interno della stessa istituzione. Alcuni dei programmi di ricerca finanziati dal DoE sono simili a ciò che viene fatto al CERN in termini di apertura internazionale del modello scientifico, ampia consultazione della comunità scientifica e divulgazione. Il DoE stesso contribuisce anche agli

<sup>15</sup> Findable, Accessible, Interoperability, Re-use.

esperimenti e all'aggiornamento dell'LHC del CERN. In una prospettiva storica, è possibile condividere l'opinione di Hughes (2002) secondo la quale il progetto Manhattan (e la ricerca militare basata sulla conoscenza scientifica precedente alla Seconda Guerra Mondiale) ha ispirato i successivi laboratori su larga scala in fisica, incluso il CERN, almeno in termini di complessità organizzativa e dimensione del budget. Si veda anche Block e Keller (2011) sul ruolo del governo USA nella promozione della ricerca tecnologica. Tuttavia, mentre alcune caratteristiche del modello 'Ginevra' non sono del tutto assenti nel modello 'Manhattan' e non sono presenti in tutti i progetti scientifici su larga scala contemporanei, esse sono tuttavia peculiari del nuovo paradigma sottostante gli investimenti nelle moderne IR. Queste stanno diventando un elemento strategico della politica pubblica e delle iniziative dell'EU per affrontare le sfide sociali in diversi settori quali ambiente, energia, salute, scienza del patrimonio, cultura e istruzione, biologia, etc. (OCSE GSF, 2018a; ESFRI, 2018, 2016b, Euroforum, 2017).

La Tabella 1 riporta alcuni esempi di IR tratti dagli ESFRI Landmarks. La prima colonna identifica l'IR, il Paese coordinatore e i Paesi partner; la Colonna (2) identifica il settore/ambito: energia (ENE), ambiente (ENV); salute e nutrizione (H&F); fisica e ingegneria (PSE); sociale e cultura (S&C). La Colonna (3) descrive la tipologia di infrastruttura: struttura fisica localizzata in un unico sito (SS); struttura fisica distribuita (D); distribuita virtuale (D-e). Il periodo inerente alla fase di costruzione (YCO) è riportato nella Colonna (4); mentre la Colonna (5) mostra l'anno in cui l'IR ha iniziato o inizierà la fase operativa (YOP). La colonna (6) riporta il valore dell'investimento in milioni di euro (CAV) e la colonna (7) elenca gli Stati Membri (PCS).

Tab.1: Alcuni esempi di IR tratti dalla Roadmap ESFRI 2016.

Name	SEC	TYP	YCO	YOP	CAV	PCS
<b>Jules Horowitz Reactor (JHR)</b> , <a href="http://www.cad.cea.fr/rjh">http://www.cad.cea.fr/rjh</a>	ENE	SS	2009-2019	2020*	1,000	EC-JRC, BE, CZ, ES, FI, FR, FR, IL, IN, SE, UK
<b>Partnership for Advanced Computing in Europe (PRACE)</b> <a href="http://www.prace-ri.eu">http://www.prace-ri.eu</a>	e-RI	D	2011-2015	2010	500	European XFEL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EL, ES, FI, FR, HU, IE, IL, IT, LT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR, UK
<b>European Advanced Translational Research Infrastructure in Medicine (EATRIS ERIC)</b> , <a href="http://www.eatris.eu">http://www.eatris.eu</a>	H&F	D	2011-2013	2013	500	CZ, DK, EE, ES, FI, FR, IT, NL, NL, NO, SE
<b>European Spallation Source (ERIC)</b> <a href="http://www.europeanspallationsource.se">http://www.europeanspallationsource.se</a>	PSE	SS	2013-2025	2025*	1,843	BE, CH, CZ, DE, DK, DK, EE, ES, FR, HU, IT, NL, NO, PL, SE, SE, UK
<b>European X-Ray Free-Electron Laser Facility (European XFEL)</b> , <a href="http://www.xfel.eu">http://www.xfel.eu</a>	PSE	SS	2009-2017	2017*	1,490	European XFEL, CH, DE, DK, ES, FR, HU, IT, PL, RU, SE, SK
<b>High-Luminosity Large Hadron Collider (HL-LHC)</b> <a href="http://home.cern">http://home.cern</a>	PSE	SS	2017-2025	2026*	1,370	CERN, AT, BE, BG, CH, CZ, DE, DK, EL, ES, FI, FR, HU, IL, IT, NL, NO, PK, PL, PT, RO, RS, SE, SK, TR, UK
<b>Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR)</b> , <a href="http://www.fair-center.de">http://www.fair-center.de</a>	PSE	SS	2012-2022	2022*	1,262	DE, FI, FR, IN, PL, RO, RU, SE, SI, UK
<b>European Extremely Large Telescope (E-ELT)</b> , <a href="http://www.eso.org/public/teles-instr/e-elt/">http://www.eso.org/public/teles-instr/e-elt/</a>	PSE	SS	2014-2024	2024*	1,000	ESO, AT, BE, BR, CH, CZ, DE, DK, ES, FI, FR, IT, NL, PL, PT, SE, UK
<b>Extreme Light Infrastructure (ELI)</b> , <a href="http://www.eli-laser.eu/">http://www.eli-laser.eu/</a>	PSE	D	2011-2017	2018*	850	ELI-DC, CZ, DE, HU, IT, RO, UK
<b>Square Kilometre Array (SKA)</b> , <a href="http://www.skatelescope.org">http://www.skatelescope.org</a>	PSE	D	2018-2023	2020*	650	ESO, AU, CA, CN, ES, FR, IN, IT, MT, NL, NZ, PT, SE, UK, UK, US, ZA
<b>European Social Survey (ESS ERIC)</b> <a href="http://www.europeansocialsurvey.org">http://www.europeansocialsurvey.org</a>	S&C	D	2010-2012	2013	NA	AT, BE, CH, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, HU, IE, IL, LT, LV, NL, NO, PL, PT, SE, SI, SK, UK
<b>Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe (SHARE ERIC)</b> , <a href="http://www.share-project.org/">http://www.share-project.org/</a>	S&C	D	2010-2012	2011	110	AT, BE, CH, CZ, DE, DE, DK, EE, EL, ES, FR, HR, HU, IE, IL, IT, LU, NL, PL, PT, SE, SI
<b>Digital Research Infrastructure for the Arts and Humanities (DARIAH ERIC)</b> , <a href="http://www.dariah.eu">http://www.dariah.eu</a>	S&C	D	2014-2018	2019*	4.3	AT, BE, CY, DE, DK, EL, FR, HR, IE, IT, LU, MT, NL, RS, PL, PT, SI, ES

**Source:** Florio (2019).

**Notes:** \* expected; \*\*for centralized services; \*\*\* NA (not available); M€/Y: EUR millions per Year

**Legend:** ELI-DC: ELI Delivery Consortium International Association; EUC: Consortia of European Universities, AM: Armenia, AR: Argentina, AT: Austria, AU: Australia, AZ: Azerbaijan, BE: Belgium, BG: Bulgaria, BR: Brazil, CA: Canada, CH: Switzerland, CL: Chile, CN: China, CY: Cyprus, CZ: Czech Republic, DE: Germany, DK: Denmark, EE: Estonia, ES: Spain, ESO: ESO, FI: Finland, FR: France, HR: Croatia, HU: Hungary, IE: Ireland, IL: Israel, IN: India, IT: Italy, JP: Japan, LT: Lithuania, LU: Luxembourg, LV: Latvia, MA: Morocco, MT: Malta, MX: Mexico, NA: Namibia, NL: Netherlands, NO: Norway, NZ: New Zealand, PK: Pakistan, PL: Poland, PT: Portugal, RO: Romania, RU: Russian Federation, SE: Sweden, SI: Slovenia, SK: Slovakia, TH: Thailand, TR: Turkey, UA: Ukraine, UK: United Kingdom, US: United States, ZA: South Africa.

Si tratta solo di alcuni esempi. Esaminando le Roadmap 2016 e 2018 di ESFRI e le Roadmap nazionali, in Europa (UE, UK e Svizzera) le grandi IR sono forse trecento.<sup>16</sup> Con quelle minori, ma comunque con caratteristiche analoghe al modello Ginevra, sia pure su scala più piccola, forse in Europa ci sono oltre un migliaio di IR, con il coinvolgimento diretto e indiretto di centinaia di migliaia di utenti scientifici, personale tecnico e gestionale studenti di dottorato e di master e imprese. Una quota consistente della scienza (settore militare escluso) è oggi organizzata in questa forma e ha importanti ricadute sociali, su cui sappiamo ancora poco. Tentiamo di discuterne in quel che segue.

<sup>16</sup> Comunicazione personale del presidente di ESFRI.

### 3. L'impatto sociale del modello 'Ginevra' delle infrastrutture di ricerca.

#### 3.1. *Il paradosso: dall' "open science" all' oligopolio?*

Le IR producono conoscenza che può tradursi in benefici sociali con una varietà di meccanismi (Martin and Tang, 2007; Bozeman, 2000; Martin, 1996). Un modo semplice di discutere dell'impatto socioeconomico del modello 'Ginevra' e delle moderne IR è analizzare distintamente i benefici per diversi gruppi sociali e attori economici (Florio and Sirtori, 2016).

*Gli scienziati* sono sia 'produttori' sia 'consumatori' dell'output dell'attività di ricerca. Essi contribuiscono ad aumentare lo stock di conoscenza a vari livelli (incrementale, scoperte vere e proprie o scoperte 'rivoluzionarie') sia nel proprio ambito scientifico sia in altri domini scientifici. L' output di ricerca viene spesso misurato (a partire da de Solla Price, 1963), sebbene in modo imperfetto, considerando le pubblicazioni scientifiche e i preprints (EC, 2014; Martin, 1996; Pinski and Narin, 1976). L'impatto successivo sulla comunità scientifica è misurabile anche tracciando il numero di citazioni attraverso analisi scientometriche (Carrazza et al., 2016; Ferrara and Salini, 2012). Questa modalità formalizzata di comunicare le conoscenze ha riflessi sulle carriere dei ricercatori e le IR - in questo senso limitato - funzionano come produttori di dati sperimentali e di output per gli scienziati stessi come utenti.

*Studenti e giovani ricercatori* che trascorrono un periodo di studio e/o lavoro presso un laboratorio scientifico o una IR beneficiano in termini di accumulazione di capitale umano e apprendimento (Camporesi et al., 2017; Choi, et al 2011). Come accennato sopra, le IR sono incubatori di capitale umano (e di capitale sociale tramite le reti di collaborazioni) e possono positivamente influenzare le competenze dei giovani ricercatori migliorandone le abilità tecniche, scientifiche, comunicative, di analisi critica e risoluzione di problemi alla stessa stregua delle aziende più performanti e tecnologicamente avanzate (OECD, 2014). Il beneficio può essere stimato valutando gli effetti a lungo termine sulle future carriere di studenti e ricercatori post-dottorato in termini di opportunità occupazionali e retribuzioni in settori che spesso sono al di fuori del mondo accademico o della ricerca<sup>17</sup>.

*Le imprese fornitrici* interagiscono con le IR per fornire loro tecnologia, beni e servizi strumentali all'attività di ricerca. Gli acquisti tecnologici consistono tipicamente in strumenti e/o servizi all'avanguardia, spesso non esistenti sul mercato e che devono operare in condizioni estreme (ad esempio nello spazio o a bassissime temperature per ottenere la superconduttività). Le interazioni e lo scambio di conoscenze tra IR e imprese (usualmente private) fornitrici di tecnologia

<sup>17</sup> Camporesi et al., 2017; Schopper 2009.

è spesso fonte di innovazione e potenziale successo dell'impresa fornitrice sul mercato (Sorenson, 2017; Edquist et al., 2015; Edquist e Zubala-Iturriagagoitia, 2012; Williamson, 2008; Lundvall, 1985). In tal senso, le IR rappresentano un ambiente di apprendimento per i loro partner industriali (Autio et al., 2004). In alcuni casi, le IR agiscono come 'risk takers', riducendo il rischio di sviluppo del bene e/o servizio e di intraprendere progetti alla frontiera della scienza che altrimenti peserebbe interamente sull'impresa (Unnervik, 2009). L'impatto delle IR sull'economia veicolato attraverso la loro attività di approvvigionamento è misurabile valutando l'effetto sulla performance delle imprese fornitrici lungo molteplici direttrici: maggiore profitti, acquisizione di nuovi clienti, entrata in nuovi mercati, intensità di R&S, capacità innovativa, nuove unità e spinoffs, effetti reputazionali, ecc (Florio et al., 2018; Castelnovo et al, 2018; Nordberg et al., 2003). I benefici acquisiti dai fornitori diretti possono essere (parzialmente) trasferiti ai subfornitori di secondo, terzo livello e lungo l'intera catena di approvvigionamento (Florio et al., 2018; Science | Business, 2015; Nordberg et al., 2003).

*Le imprese e i consumatori di prodotti innovativi a valle delle IR possono beneficiare dei contributi tecnologici avvenuti a monte. Essi includono nuovi servizi, prodotti, processi o applicazioni utilizzate in mercati secondari e/o in altri ambiti rispetto al campo di ricerca iniziale.*

Per esempio, il programma Europeo di osservazione della terra Copernicus,<sup>18</sup> è un insieme complesso di sistemi che raccoglie informazioni da molteplici fonti (satelliti di osservazione della Terra e sensori di terra, di mare ed aviotrasportati). Esso integra ed elabora tutte queste informazioni, fornendo agli utenti, istituzionali ed afferenti al comparto industria, informazioni affidabili e aggiornate attraverso una serie di servizi che si dividono in sei aree tematiche: il suolo, il mare, l'atmosfera, i cambiamenti climatici, la gestione delle emergenze e la sicurezza. L'impatto del programma Copernicus a valle è stato stimato da EC (2016) in diversi settori (agricoltura, monitoraggio ambientale come foreste e oceani, energia, monitoraggio urbano, qualità dell'aria etc..).

*Gli utenti di software e di databases beneficiano da un lato della sempre crescente disponibilità di dati e dall'altro delle innovazioni relative all'ICT. Un caso notevole del primo tipo di beneficio la disponibilità di dati di pubblico dominio è l'impatto nelle scienze della vita dei dati dell'Human Genome Project, il primo esempio di scienza su larga scala nel campo della biologia. Completato nel 2003, e costato oltre 3 miliardi di USD, ha permesso di sequenziare il DNA di un piccolo campione di riferimento di esseri umani, con un protocollo di diffusione senza restrizione dei risultati attraverso databases liberamente accessibili e con un enorme impulso alla bioinformatica.*

Presso il CERN, come ben noto, è stato ideato il World Wide Web. Attualmente viene tuttora

---

18 <http://copernicus.eu/>

sviluppato e rilasciato nel pubblico dominio un software inizialmente adattato alle esigenze della fisica delle alte energie ma che in molti casi risulta essere di grande utilità anche per altri domini applicativi. Due esempi di questo software sono ROOT (una libreria di strumenti per l'analisi e la visualizzazione dei dati) e Geant4 (software per simulare gli effetti delle particelle che passano attraverso la materia, utilizzato, ad esempio, in medicina per simulare il danno da radiazioni nel DNA, e in altri settori). I benefici economici di tali esternalità sono stati stimati da Florio, Forte e Sirtori (2016) utilizzando le statistiche annuali sul download del codice del software e con survey agli utenti. Ricerche presso il EMBL-Bioinformatics Institute hanno stimato il valore del tempo risparmiato dai ricercatori di tutto il mondo che possono accedere gratuitamente ai database online contenenti un immenso patrimonio informativo sul genoma di diverse specie e altri biodati<sup>19</sup>.

*Gli utenti di benefici culturali.* Le IR generano un beneficio culturale che può essere direttamente o indirettamente associato all'attività di ricerca (Martin, 1996). Molte IR organizzano regolarmente mostre permanenti o temporanee, visite guidate, eventi speciali, workshops, conferenze, eventi di disseminazione e sensibilizzazione per il pubblico e i non addetti ai lavori. L'attività di disseminazione può anche essere veicolata tramite social media attraverso webinar, messa a disposizione di risorse digitali per attività ricreative, ecc. Il beneficio a favore degli utenti può essere approssimato dalla loro disponibilità a pagare stimata con metodi consolidati nella analisi costi-benefici dei beni ambientali e culturali (EC, 2014; Florio and Sirtori, 2016).

*I cittadini, nella doppia veste di contribuenti e di beneficiari di valori di non-uso.* Le IR producono conoscenza, la quale è spesso, di fatto, un bene pubblico (Stiglitz, 1999). Nel caso delle IR, tipicamente, la produzione di conoscenza è finanziata dagli Stati partecipanti tramite spesa pubblica; quindi, in ultima istanza, i contribuenti sono i finanziatori della produzione di conoscenza. Ma perché essi dovrebbero essere disposti a pagare? Una possibile risposta è che potrebbe esserci una preferenza pubblica (utilità) per la scienza, per la possibilità di fare nuove scoperte e per gli avanzamenti della conoscenza *per se* (Archibugi e Filippetti 2015) senza che i contribuenti ne usufruiscano direttamente. Emerge quindi un valore di 'non uso' o di esistenza dell'attività di ricerca (o della scoperta scientifica) alla stessa stregua del valore che le persone attribuiscono ai beni pubblici ambientali (foreste, ecosistemi, specie in via di estinzione) e culturali (musei, monumenti, patrimonio artistico e culturale in generale). La disponibilità a pagare per i beni pubblici è una proxy empirica del valore di non uso (Johnston et al., 2017; Carson et al., 2003; Pearce and Mourato, 1998).

In alcuni casi che abbiamo studiato, i benefici sociali totali delle IR (per quanto possibile misurarli) sono maggiori dei loro costi, generando un beneficio netto per la società. Ad esempio,

---

<sup>19</sup> <https://www.genome.gov/12011238/an-overview-of-the-human-genome-project/>

l'acceleratore LHC del CERN, produce benefici sociali nelle categorie sopra citate. Il rapporto fra benefici e costi (B/C), con una stima prudenziale (escluse future applicazioni ancora ignote), è di 1.2 (Florio et al. 2016) che salirà a 1.8 considerando il potenziamento con il progetto High Luminosity LHC, previsto per il 2025 con un costo di investimento di 950 milioni di SFR (Bastianin and Florio, 2018). Un grande sincrotrone per la ricerca medica sui tumori, come il CNAO di Pavia (a sua volta in un certo senso uno spin-off di idee e tecnologie di origine CERN) ha un rapporto benefici-costi ancora maggiore (Battistoni et al. 2016). Analoghi risultati sono previsti per diversi progetti cofinanziati dal FESR nel quadro della politica di Coesione Europea. Questi lavori e altri di tipo più qualitativo prodotti da parte di altri gruppi di ricerca già a partire dagli anni '80 (Martin and Irvine, 1981; 1983; Irvine and Martin, 1983) suggeriscono che le IR potrebbero quindi generare benefici sociali netti già prima che si possano prevedere gli effetti economici a cascata del progresso scientifico sotto il profilo dell'innovazione.

Ma quali sono gli effetti distributivi sui vari gruppi sociali? Qui le cose sono un po' più complicate da valutare. Il metodo dell'analisi costi benefici (CBA) richiede di attribuire un peso sociale a ciascun gruppo se le funzioni del benessere sociale sottostanti esprimono avversione alla disuguaglianza. I pesi sono inversamente proporzionali al reddito pro capite (o un altro indicatore di benessere individuale) (Brent, 2006; Squire and van der Tak, 1975). Ponendo l'unità pari ad un euro guadagnato dal cittadino/contribuente mediano, quali dovrebbero essere i pesi da attribuire a ciascuno dei gruppi sociali coinvolti? In mancanza di indagini specifiche, una ragionevole congettura suggerirebbe che il coefficiente di benessere per valutare i benefici diretti per scienziati e studenti sia leggermente al di sotto dell'unità perché questi sono un gruppo con reddito procapite attuale e potenziale mediamente al di sopra della media. Lo stesso vale per gli investitori nelle imprese fornitrici e per gli utenti di software e databases. Il coefficiente di benessere sociale potrebbe, invece, essere fissato al massimo pari all'unità per gli utenti diretti e indiretti di beni culturali e (come accennato sopra per definizione) per il contribuente medio. Quest'ultimo da un lato finanzia con le tasse questi progetti dall'altro ha una certa disponibilità a pagare per la ricerca.

Applicando il metodo della valutazione contingente, Florio and Giffoni (2018) hanno quantificato la disponibilità a pagare per finanziare l'attività di ricerca di base al CERN tramite un'indagine su un campione di 1.000 cittadini francesi rappresentativo della popolazione in termini di reddito procapite, età, istruzione, genere e distribuzione geografica. La disponibilità a pagare media è 4 euro per persona all'anno (contro un contributo effettivo della Francia al CERN di 2,7 Euro procapite all'anno), sebbene solo metà del campione abbia rivelato una disponibilità a pagare maggiore di zero. Per quanto il reddito non sia l'unica determinante, certamente la correlazione fra disponibilità a pagare e reddito è positiva, quindi i meno abbienti, soprattutto quelli meno istruiti

traggono meno beneficio *percepito* dall'essere tassati per la produzione di beni che volontariamente non finanzierebbero

Tutto ciò implica che, a parte un effetto 'pesato' leggermente inferiore rispetto a quello aggregato, gli effetti distributivi in prima battuta sembrano modesti e forse anche lievemente regressivi. Questo soprattutto se, per esempio, si confrontasse direttamente un investimento in IR come un radiotelescopio con un progetto di ospedale o di scuola pubblica in un'area svantaggiata. Per esempio, il Sudafrica sta investendo in SKA (Square Kilometre Array), il più grande progetto di radioastronomia della storia formato da migliaia di antenne radio da dislocare in Sudafrica e in Australia. SKA è utilizzato per intercettare onde radio dallo spazio profondo e sarà usato per capire come si formano le stelle e le galassie e come esse si sono evolute nel tempo. Esso sarà anche utilizzato per una migliore comprensione della materia oscura. Stime preliminari suggeriscono che la prima fase di costruzione (SKA1), i costi operativi del quartier generale SKA e il finanziamento richiesto per la messa in servizio e le operazioni iniziali ammontano a 1,8 miliardi di euro per il periodo 2018-2027.<sup>20</sup> Si potrebbe discutere se questo investimento dal punto di vista sociale sia una priorità per un paese con un basso livello di sviluppo e rilevanti problemi di disuguaglianza persistente anche dopo la fine dell'apartheid. D'altro canto un paese, anche in via di sviluppo, che non investa nulla nella ricerca fondamentale e applicata rimarrà ai margini dalla frontiera scientifica e, soprattutto inevitabilmente, soffrirebbe di un'emigrazione dei cervelli. La Cina sta progettando un acceleratore di particelle di 100 Km di diametro, quattro volte LHC.

Ma vorremmo essere chiari: non crediamo che queste considerazioni di analisi dei costi e benefici sociali siano esaustive nel valutare l'impatto delle IR a lungo termine. È possibile che la vera questione sotto il profilo distributivo non derivi da nessuno degli impatti socio-economici in precedenza elencati, ma dalle modalità con cui le imprese private a valle si appropriano delle conoscenze prodotte come bene pubblico o comunque senza finalità di profitto. In questa prospettiva vari esempi suggeriti da Block e Keller (2011) e da Mazzucato (2017, 2018) possono anche essere letti in modo un po' meno ottimistico quando la prospettiva è quella della disuguaglianza. Il punto è che il contribuente mediano, ed anche quello meno abbiente, finanzia grandi progetti di ricerca pubblica i cui risultati sono resi disponibili gratuitamente per ulteriori R&S nelle (prevalentemente grandi) imprese. Ne deriva un processo innovativo che si traduce in effetti sui mercati dei beni e dei servizi. Quanta parte dei profitti delle imprese, soprattutto di quelle tecnologicamente avanzate (sia manifatturiere sia di servizi) deriva dall'appropriazione di conoscenza generata a monte dalle IR e per accedere alla quale le imprese non hanno pagato nulla?

<sup>20</sup> <https://www.skatelescope.org/> Ultimo accesso 01.11.2018.



Per quanto ne siamo consapevoli, non esiste una valida ricerca empirica in grado di rispondere a questa domanda, se non singoli studi di caso (ad es. Block and Keller, 2011).

Come è noto, gli argomenti che supportano il finanziamento pubblico della ricerca, a partire dai modelli di crescita endogena (Romer, 1990; Lucas, 1990), identificano una sottoproduzione di R&S da parte delle imprese private dovute al fatto che certe conoscenze possono essere acquisite solo con alti rischi, a lungo termine, e per di più sono soggette a spillover da una impresa all'altra. In questo impianto metodologico, lo Stato si configura come rimedio ai fallimenti del mercato e colma il gap o con intervento diretto (ad esempio con IR e università pubbliche) o con sussidi alle imprese incentivandole a fare di più di quanto spontaneamente non farebbero. Anche varie forme di forniture pubbliche per l'innovazione vanno nella stessa direzione (Knutsson and Thomasson, 2014; Aschhoff and Sofka, 2009; Edler and Georghiou, 2007). La stessa Mazzucato (2017) parla di 'market creation', nel senso che il rimedio ai fallimenti del mercato generati dalla scienza crea nuove, inedite, opportunità e fa diversi esempi a riguardo. In generale questa letteratura sostiene il ruolo positivo dello Stato innovatore, ma forse non ne coglie le implicazioni distributive.

Se il capitale produttivo è oggi largamente basato sulla conoscenza, cioè di natura intangibile, allora forse un meccanismo importante di generazione delle disuguaglianze va cercato proprio nell'appropriazione privata di conoscenze che nascono come bene pubblico e, in seguito, sono intercettate da investitori privati. Per vedere un'analogia: per molti decenni le imprese più performanti per valore di mercato e profitti sono state le società petrolifere, che in larga misura riflettono l'appropriazione privata di risorse del sottosuolo, talvolta nella legislazione considerate intrinsecamente pubbliche, ma poi a vario titolo 'concesse' ai privati. La storia delle 'sette sorelle' del petrolio, che tanta influenza hanno avuto nella storia anche politica e militare del XX secolo, è basata su questo tipo di appropriazione. Il petrolio dei nostri tempi è la conoscenza e nuove 'sette sorelle' se ne sono impadronite (The Economist, May, 2017) <sup>21</sup>, vedi più avanti (Tab.2)

Per ben note ragioni la conoscenza genera peraltro forme di monopolio naturale (il costo medio di produzione è indefinitamente decrescente con la quantità prodotta), un punto già chiaro ad esempio, in Romer (1990). Sul monopolio naturale si innesta quindi spesso un monopolio di mercato (o un oligopolio, vedi Tresch 2008, a proposito del prezzo del software). Perciò, se a valle possono esistere meccanismi competitivi che normalizzano gli extraprofitti, a monte, lo scenario è dominato dal monopolio (o da equilibri di oligopolio che per semplicità non saranno considerati in questo lavoro). Se la ricerca pubblica crea i mercati, come sostenuto da Mazzucato (2018), è anche

---

<sup>21</sup> The world's most valuable resource is no longer oil, but data. The data economy demands a new approach to antitrust rules <https://www.economist.com/leaders/2017/05/06/the-worlds-most-valuable-resource-is-no-longer-oil-but-data>

vero che spesso crea mercati monopolistici, con tutte le conseguenze del caso. La concentrazione della ricchezza, e quindi la disuguaglianza, sono causate anche da questo meccanismo.

Per far fronte a questo meccanismo, è necessario ripensare il ruolo e le forme dell'intervento pubblico nel campo della ricerca e dell'innovazione per perseguire non solo la crescita economica ma anche obiettivi sociali.

### 3.2. *Perché non basta tassare i profitti di impresa.*

La soluzione ortodossa in economia pubblica al problema del profitto di monopolio è la tassazione. Tuttavia, questa soluzione potrebbe non essere efficiente. In presenza di monopolio naturale l'efficienza richiederebbe che il prezzo sia fissato al costo marginale che tuttavia è inferiore al costo medio. L'impresa privata dovrebbe essere sussidiata e obbligata a operare in regime di prezzo amministrato, oppure dovrebbe essere nazionalizzata e le perdite di bilancio coperte da un trasferimento dalla fiscalità generale.

Il caso che stiamo discutendo è più complesso. Le IR possono essere viste come una particolare forma di impresa pubblica che produce e distribuisce gratuitamente conoscenza ed opera in regime di monopolio naturale dato che, sostanzialmente, il costo di produzione è fisso. Il costo di esercizio degli apparati sperimentali e il valore cumulativo della conoscenza come bene intangibile generalmente non variano in funzione del numero di pubblicazioni scientifiche prodotte. Le pubblicazioni sono a loro volta funzione lineare del numero di scienziati coinvolti. La combinazione di questi elementi genera un processo a costi decrescenti, che, come si è detto, è messo a disposizione di chiunque a prezzo zero. Si crea un'esternalità, un beneficio che è trasferito dai contribuenti agli azionisti e altri stakeholder (manager ma anche fornitori e alcune fasce di dipendenti) alle imprese private che beneficiano della ricerca pubblica senza pagarla. Si potrebbe restituire ai contribuenti almeno quanto hanno investito? Discutiamo brevemente due soluzioni: un'imposta indiretta sui beni prodotti a valle e un'imposta sugli extra-profitti o rendita di monopolio derivante dall'appropriazione della conoscenza. Vedremo che sono entrambe inadeguate.

Un'imposta indiretta dovrebbe poter funzionare come un'imposta alla Pigou, che costringe l'impresa a internalizzare come proprio costo per unità di prodotto ciò che i contribuenti hanno speso a monte per consentire all'impresa stessa di produrre. Questo tipo di imposta, almeno in teoria, è relativamente semplice. Nel caso delle esternalità negative, come ad esempio l'inquinamento, si tratta di far pagare all'inquinatore un'imposta pari al costo che subiscono i terzi, per cui il costo sociale è dato dalla somma del costo privato di produzione per l'impresa e del costo

dell'inquinamento. Nel caso di un'esternalità positiva, le cose non sono diverse, e si dimostra che un'imposta e un sussidio hanno effetti equivalenti.

Si possono immaginare diversi meccanismi per spingere un centro di ricerca privato a fare più ricerca. Uno di questi è che il centro di ricerca sia acquisito dall'impresa che gode dell'esternalità, divenendo la propria divisione R&D. Un altro meccanismo è quello di un sussidio pubblico al centro di ricerca, in modo che il costo della ricerca si riduca.<sup>22</sup> Occorre poi verificare se per il contribuente medio il costo dell'imposta che finanzia il sussidio sia compensato dal beneficio indiretto dovuto all'aumento della quantità di ricerca.

Fin qui una lettura tradizionale e schematica del problema. Tuttavia sembra molto difficile calcolare esattamente l'esternalità per tarare l'imposta con un margine accettabile di errore. Di fatto, l'esternalità è spesso ignota ex-ante almeno per quanto riguarda la ricerca di base. Sono occorsi quasi cento anni perché l'articolo di Einstein (1905) sull'effetto fotoelettrico avesse applicazioni tecnologiche nella produzione commerciale di elettricità. Non abbiamo alcuna idea se la scoperta del bosone di Higgs fra cento anni avrà qualche applicazione pratica. In altre parole, la curva del beneficio marginale è indeterminata ex ante, quindi lo è anche la curva del costo marginale.

Sembrerebbe forse più pratico tassare ex post i profitti dell'impresa privata derivanti dall'esternalità. In particolare, se l'impresa che beneficia della ricerca operasse a sua volta in un mercato monopolistico la tassazione dei profitti sarebbe efficiente. Si tratterebbe di tassarla con una imposta *lump-sum* per definizione non distorsiva in quanto l'impresa non potrebbe modificare il proprio comportamento per sottrarsi all'imposta stessa. Tuttavia, vi sono due ostacoli praticamente insuperabili. In primo luogo non si saprebbe come determinare quale parte dei profitti dell'impresa derivi dall'esternalità della ricerca. Nel bilancio di un'impresa i profitti sono un aggregato derivante dall'insieme delle attività e passività, e quale parte degli assets intangibili dell'impresa e delle sue conoscenze derivi dall'esternalità della ricerca non è contabilizzata. Quindi avremmo lo stesso problema emerso con l'imposta indiretta: un'indeterminazione della base imponibile. A questo problema si sommerebbe l'estrema facilità con cui grandi imprese di capitali possono sottrarsi all'imposta sui profitti, in particolare attraverso l'arbitraggio fra giurisdizioni fiscali. In questo contesto la natura di bene pubblico o quasi pubblico della conoscenza non aiuta, perché non è affatto detto che centro di ricerca e impresa nell'esempio di cui sopra appartengano alla stessa giurisdizione.

Il finanziamento delle IR può essere visto come un meccanismo alternativo. Invece che ricorrere a imposte correttive à la Pigou o con imposte sui profitti, si introduce nella scena una

---

<sup>22</sup> Di fatto uno dei meccanismi classici di sussidio alle università private perché facciano ricerca sono i contratti con i governi, che negli USA spesso vuole dire contratti per ricerca militare, ma anche grants dal National Institutes of Health, della National Science Foundation ed altri.

struttura di ricerca pubblica che fa direttamente ciò che né un centro di ricerca privata né l'impresa privata sono disposti a fare: ad esempio, cercare il bosone di Higgs, le onde gravitazionali, pianeti simili alla Terra in altre galassie, sequenze genetiche di specie marine, materiali superconduttori, ecc. Le IR operano in condizioni incompatibili con il mercato: producono conoscenza in regime di monopolio naturale, cioè a costi medi decrescenti e si spingono a farlo sin dove i trasferimenti degli Stati partecipanti glielo consentono.

Prima o poi, in modo del tutto aleatorio, si creeranno delle esternalità, di valore economico imprecisato. Per semplicità immaginiamo che queste siano le uniche esternalità. Quando esse si materializzano la loro appropriazione privata è integrale perché *nessun prezzo è stato pagato dalle imprese, ma tutto è stato finanziato dai contribuenti*. Se le conoscenze scientifiche così acquisite sono monopolizzate legalmente, ad esempio con brevetti o di fatto grazie all'operare di rendimenti di scala, il prezzo pagato dai consumatori contiene una componente di rendita monopolistica. Il contribuente-consumatore medio, che tipicamente ha un reddito inferiore all'azionista delle imprese monopolistiche basate sulla conoscenza, subisce un doppio effetto distributivo avverso. Ha finanziato l'innovazione a monte, con imposte spesso sub-ottimali sotto il profilo della progressività (si pensi al ruolo ormai limitato che hanno le imposte personali progressive) e ne ricompra a valle le ricadute a prezzo maggiorato dalla rendita di monopolio.

Come abbiamo detto sopra, in realtà non tutte le esternalità derivano dalla ricerca pubblica, vi sono anche esternalità derivanti dalla ricerca privata (e il modello di Romer 1990 si riferisce a quelle). Quindi la curva del beneficio marginale avrebbe due componenti, una a monte per la ricerca pubblica e una a valle per quella privata, ma è facile vedere che le conseguenze sono analoghe.

Si potrebbe pensare che questi effetti di appropriazione privata a valle della produzione di beni pubblici non siano rilevanti. Nell'area OCSE nel 2015 il finanziamento pubblico della ricerca è stato di 315 miliardi di dollari, di cui il 47 per cento negli USA, e in particolare nel settore spaziale e della difesa nazionale (OECD, 2017a). Nel 2015, la popolazione dei paesi OCSE era di 1,281 miliardi, e quindi il contributo diretto annuo in termini fiscali di ogni cittadino (di ogni fascia di età e reddito) in media è stato di circa 246 dollari. Potrebbe sembrare poco. Ma ciò che non sappiamo è quanto ogni cittadino paga a valle per ricomparsi il valore delle innovazioni e come si distribuiscono le rendite che ne derivano. E' tuttavia interessante che se consideriamo le prime dieci imprese del mondo nel 2018 per valore di mercato, le prime sei (o sette considerando Tencent Holdings, società ICT cinese) si basano su tecnologie dell'informazione, mentre EXXON, a lungo la prima impresa del mondo per valore di mercato è ora al decimo posto (Tab. 2)

Tab.2. Le prime dieci società del mondo per valore di mercato nel 2018.

N	Società	Valore di mercato (miliardi di dollari)
1	Apple	926,9
2	Amazon	777,8
3	Alphabet	766,4
4	Microsoft	750,6
5	Facebook	541,5
6	Alibaba	499,4
7	Berkshire Hathaway	491,9
8	Tencent Holdings	491,3
9	JPMorgan Chase	387,7
10	ExxonMobil	344,1

Source: <https://www.statista.com/statistics/263264/top-companies-in-the-world-by-market-value/>

Ovviamente, sarebbe del tutto improprio dire che questi enormi valori di mercato, che in concreto sono valori di azioni possedute dagli investitori, siano direttamente derivanti dalla ricerca del CERN per il World Wide Web o dal dipartimento della difesa USA per Internet (che deriva come è noto da Arpanet, un progetto di rete militare). In Google c'è molto altro. Alphabet, cui Google appartiene, nel 2017 ha investito 16,625 miliardi di dollari in R&S (erano 7,137 cioè meno della metà nel 2013).<sup>23</sup> Il valore di mercato riflette anche le aspettative generate dall'accumulo di questo capitale intangibile derivante dalla ricerca (oltre che possibili bolle speculative). Resta il fatto, tuttavia, che se Google esiste è perché gli inventori e i contribuenti che li hanno finanziati hanno donato al mondo il concetto della rete Internet (oggi 3,5 miliardi di utenti) e del WWW (1, 2 miliardi di siti web).<sup>24</sup>

'Human Genome Project (HGP)' come si è detto, è costato circa 3 miliardi di dollari, interamente finanziati dal settore pubblico di diversi Paesi, principalmente dagli USA ed ha richiesto circa dodici anni.<sup>25</sup> Oggi sequenziare interamente un genoma umano richiede meno di mille dollari e meno di un'ora con le nuove tecnologie, sviluppate grazie a quell'investimento pubblico iniziale. Nel giro di qualche anno sarà possibile sequenziare il genoma di milioni di esseri umani e utilizzare l'informazione per una medicina mirata a gruppi geneticamente affini. Già adesso oltre 350 prodotti biotech derivanti da queste conoscenze sono in fase di sperimentazione. Migliaia di brevetti sono stati depositati da società private. Dati i lunghi tempi di sperimentazione clinica, gli effetti si vedranno nei prossimi dieci anni ed oltre, ma è possibile che la medicina sarà cambiata per sempre. L'offerta di farmaci, test diagnostici, apparecchiature mediche è saldamente

<sup>23</sup> <https://www.statista.com/statistics/507858/alphabet-google-rd-costs/>

<sup>24</sup> [https://www.webopedia.com/DidYouKnow/Internet/Web\\_vs\\_Internet.asp](https://www.webopedia.com/DidYouKnow/Internet/Web_vs_Internet.asp)

<sup>25</sup> <https://www.genome.gov/11006943/human-genome-project-completion-frequently-asked-questions/>

nelle mani di imprese oligopolistiche private, le quali hanno ottenuto gratuitamente le conoscenze genetiche e tecnologiche con cui potranno riformulare le loro strategie. Nel prezzo dei nuovi farmaci molecolari vi è certamente la spesa di R&S *in-house* da parte delle imprese, ma i pazienti pagheranno una rendita su questi nuovi farmaci che in ultima analisi derivano dal loro stesso finanziamento come contribuenti del HGP (si veda l'Appendice su questo tema). Data la difficoltà di tassare il reddito delle società multinazionali, si può intuire che il problema distributivo che abbiamo segnalato non è marginale. E' inevitabile che le cose vadano così?

### 3.3. *Imprese pubbliche della conoscenza.*

In un certo senso, le IR sono imprese pubbliche di nuovo tipo. Benché finanziate dai governi, ovvero da coalizioni internazionali di governi, le IR godono di ampia autonomia di bilancio, discrezionalità manageriale, una governance interna molto flessibile e poco gerarchica, e competono vigorosamente fra di loro perché i fondi pubblici sono scarsi rispetto alla infinita curiosità degli scienziati. Combinano efficientemente capitale fisso e intangibile, lavoro e capitale umano, con l'obiettivo di produrre nuova conoscenza scientifica e tecnologica. La competizione non avviene sul mercato. Per lo più i servizi sono offerti a prezzo zero o al costo marginale.

Da questa prospettiva il CERN è una fabbrica del sapere contenuto in articoli scientifici, preprints online, seminari e conferenze e sapere tacito che si tramanda nel laboratorio come in un distretto Marshalliano dove i segreti del mestiere sono 'nell'aria'. Le grandi collaborazioni sperimentali come ATLAS e CMS, ognuna con circa tremila scienziati, hanno prodotto nell'arco della loro esistenza pluridecennale migliaia di pubblicazioni. Questo output ha prezzo zero (i preprints in arXiv, le slides in INDICO, ecc.) o quasi zero (gli articoli pubblicati nelle riviste). Ma migliaia d'impresе fornitrici di tecnologia, di sviluppatori di software, di giovani ricercatori, assorbono gradualmente questo sapere cui seguono innovazioni che creano valore economico. Per quanto riguarda i fornitori di tecnologia del CERN, il nostro gruppo dell'Università di Milano e di CSIL (Centre for industrial studies) ha esaminato 33.414 ordini con un valore maggiore di 10.000 CHF che hanno coinvolto, nel periodo 1995-2015, 4.204 imprese in 47 paesi. Analisi effettuate sia sui dati di bilancio (Castelnovo et al., 2018) sia con indagini dirette (circa 700 imprese fornitrici intervistate nel 2017) (Florio et al., 2018) dimostrano l'esistenza di un 'effetto CERN' sulla performance delle imprese fornitrici (R&D, brevetti, produttività, profitti, capacità innovativa in seguito all'ingresso in nuovi mercati in una varietà di settori).

Le sorgenti di luce di sincrotrone<sup>26</sup> offrono tempo di uso di fasci di radiazione elettromagnetica (raggi X di diversi ordini di grandezza più intensi di quelli convenzionali) agli

<sup>26</sup> Ve ne sono una trentina nel mondo, in Italia ELETTRA a Trieste Si veda [https://en.wikipedia.org/wiki/Synchrotron\\_light\\_source](https://en.wikipedia.org/wiki/Synchrotron_light_source)

utenti in vari settori che comprendono farmaceutica, biologia molecolare, cristallografia, materiali innovativi, beni culturali, ecc. Il servizio è gratuito per i team sperimentali affiliati a istituti di ricerca e offerti al costo di esercizio alle imprese. Queste ultime rappresentano peraltro meno del dieci per cento degli utenti perché si preferisce che siano altri utenti, tipicamente ricercatori universitari, a disegnare ed eseguire gli esperimenti. In una percentuale di casi significativa ne derivano, prima o poi, innovazioni, brevetti e profitti. Le imprese si collocano quindi due gradini al sotto: prima viene il lavoro dei fisici ed ingegneri del sincrotrone, poi i team accademici sperimentali, poi la R&S delle imprese (talvolta ci sono anche altri passaggi intermedi).

I sincrotroni per l'adroterapia del cancro<sup>27</sup> come il CNAO di Pavia, ottengono rimborsi del costo di esercizio dai servizi sanitari pubblici a tariffe non di mercato, data anche la unicità del servizio offerto. Esplorano approcci di ricerca alternativi rispetto all'uso dei raggi X, come protoni e ioni di carbonio, e generano conoscenze tecnologiche e scientifiche che si diffondono in altri centri di adroterapia.

Altri esempi riguardano l'archiviazione e distribuzione di informazione digitale. EMBL-EBI, l'istituto di bio-informatica dell'European Molecular Biology Laboratory fornisce accesso online ai propri dati inerenti a scienze naturali gratuitamente e, generalmente, senza neppure richiedere che l'utente si registri (Florio, 2019). Un rapporto sull'uso di questi dati mostra che anche le PMI di vari settori accedono frequentemente (EMBL-EBI, 2016). Un'analisi sulle citazioni dei brevetti condotta da Bousfield et al. (2016) relativi alla rete di biodati ELIXIR (comprendente oltre 200 istituti) mostra che dal 2014 sono stati depositati oltre 8.000 brevetti che citano i dati ottenuti da tale infrastruttura.<sup>28</sup> Nel mese di gennaio 2017 EMBL-EBI ha registrato circa 40 milioni di accessi al giorno effettuati da 3.2 milioni di diversi indirizzi IP per scaricare i dati. Le imprese rappresentano il 20% degli accessi, tuttavia molti altri utenti come università e istituti di ricerca a loro volta lavorano con imprese biotech e farmaceutiche.

L'EMBL-EBI Industry Programme coinvolge la maggioranza delle 20 imprese del mondo più performanti nei settori farmaceutico, medico e agroalimentare. Un esempio interessante di come si possa creare un cluster 'mission-oriented' attorno ad una IR pubblica come EMBL-EBI è l'iniziativa Open Targets<sup>29</sup> che associa ad EMBL-EBI i partner GSK, Biogen, Takeda, Celgene, e l'istituto Wellcome Sanger. I partecipanti si sono impegnati in un programma focalizzato su oncologia, immunologia e malattie neurodegenerative che ha l'obiettivo di identificare dei 'targets' genetici su cui mirare potenziali farmaci. Si tratta di ricerca pre-competitiva integralmente pubblica

<sup>27</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Terapia\\_adronica](https://it.wikipedia.org/wiki/Terapia_adronica)

<sup>28</sup> Il 14 per cento concerne brevetti per enzimi industriali, il 16 per cento per i vaccini e marcatori biologici rispettivamente, ecc., con una costante tendenza all'aumento. Si veda anche: <https://drive.google.com/file/d/0B8in1NtGRloYcFNLSFpZWWhYzg/view>, ultimo accesso 25 maggio 2018.

<sup>29</sup> <https://www.opentargets.org>

(open science) che identifica le associazioni statistiche fra geni, meccanismi di generazione delle malattie e molecole farmacologiche. Il progetto si articola in due aree: a) le informazioni disponibili su targets genetici potenzialmente correlati a malattie sono resi disponibili nella Open Targets Platform; b) informazioni su esperimenti su larga scala avviati per validare le ipotesi sui legami causali fra targets e malattie in una ottica di ricerca a largo raggio sulle terapie.

Un esempio analogo è il programma Copernicus dell'ESA (si veda sopra) che gestisce i satelliti Sentinels per l'osservazione terrestre. Come accennato sopra, l'utilizzo a valle di questi dati è talmente variegato che è difficile persino mappare gli utenti. Gli utenti registrati erano circa 160.000 lo scorso anno, tra cui forse 500 imprese. Ad esempio, la navigazione commerciale nel Mar Baltico si avvale dell'osservazione dei ghiacci per dirigere i rompighiaccio e la flotta mercantile con notevoli risparmi di costi e tempi per le società armatrici delle navi fino ai supermercati finlandesi che possono gestire in modo più flessibile il livello di scorte grazie alla maggiore regolarità degli approvvigionamenti. Vi sono vari esempi analoghi.

La competizione fra queste IR è quella tipica della scienza, basata sulla concorrenza per ottenere fondi sulla base dei risultati scientifici ottenuti e sperati, meccanismi di reputazione, e dimostrazione, in qualche modo, dei benefici sociali potenziali attraverso la comunicazione. Che un'impresa venda a prezzo zero servizi che hanno costo marginale nullo è la condizione di efficienza allocativa da manuale. In questo senso sono efficienti. Inoltre, questo nuovo tipo di "imprese" sono efficienti anche dal punto di vista tecnico. Hanno bilanci solitamente piuttosto rigidi basati su trasferimenti annuali e poco più (tutt'altro che 'soft budget constraints') e hanno attivi non liquidi, quindi devono ottimizzare le risorse per far fronte a programmi di ricerca spesso estremamente costosi e complessi. Secondo *The Economist* ("Titan of innovations", April 27, 2103) le grandi imprese multinazionali dovrebbero imparare da loro:

I progetti 'Big Science' differiscono dalle aziende notevolmente. Sono finanziati pubblicamente e non cercano profitti ... Eppure, come le aziende, devono innovare furiosamente, sfruttare al massimo le risorse limitate e battere i rivali nelle scoperte ... I loro obiettivi sono spesso chiari: trovare l' Higgs, sequenziare il genoma, esplorare Marte - ma i mezzi per raggiungerli sono tutt'altro che noti.<sup>30</sup>

Se questo è possibile a monte della catena di creazione di valore tramite la produzione di scienza su larga scala, perché non dovrebbe essere possibile allo stadio successivo, cioè quello in cui si formano le grandi imprese basate sulla conoscenza? In altre parole, perché i governi

---

<sup>30</sup> "Big Science" projects differ from companies in important ways. They are publicly financed and do not seek profits... Yet, like companies, they must innovate furiously, make the most of limited resources and beat rivals to breakthroughs... Their aims are often clear-cut - find the Higgs, sequence the genome, potter around Mars - but the means to attaining them are anything but '.



dovrebbero lasciare interamente in mani private lo sfruttamento delle grandi discontinuità tecnologiche e dei risultati economici che ne derivano?

Un argomento frequentemente ripetuto è che le imprese pubbliche non sarebbero in grado di essere sufficientemente innovative. L'evidenza empirica a favore di questa tesi è scarsa. Sterlacchini (2012) ha dimostrato che le imprese privatizzate nel settore dell'energia investono in R&S significativamente di più di quanto facevano le imprese pubbliche. Belloc (2014) ha mostrato che le asserite differenze di innovatività fra imprese pubbliche e private vengono meno quando si considerano, fra l'altro, le condizioni di contesto. Clo, Florio e Rentocchini (2018) mostrano che le imprese di telecomunicazione a partecipazione pubblica nel mondo hanno depositato più brevetti delle omologhe private. Benassi e Landoni (2017) studiano i casi Thales e ST Microelectronics; Landoni (2018) quello dell'Agenzia Spaziale Italiana come esempi di innovatività di organizzazioni pubbliche. Bortolotti et al (2018) trovano che le imprese a partecipazione pubblica investono di più in R&S delle imprese private (ma non così quelle controllate interamente dallo Stato). In generale, il confronto di produttività totale dei fattori (per quanto mal misurata) e persino di redditività fra imprese pubbliche contemporanee rispetto alle private è tutt'altro che sfavorevole nelle economie più sviluppate. Castelnovo, Del Bo, Florio (2018) mostrano che la produttività delle maggiori imprese di telecomunicazioni a partecipazione pubblica, benchè mediamente inferiore alle imprese privata, è pari e persino superiore alle imprese private nei paesi in cui la qualità delle istituzioni pubbliche è alta (dove la corruzione è bassa), ad esempio nei paesi scandinavi.

La ricerca empirica sulle imprese pubbliche contemporanee in questo campo è ancora inadeguata, probabilmente perché ci si attendeva che le privatizzazioni avrebbero sostituito le imprese pubbliche che solo recentemente sono tornate ad essere studiate: negli ultimi anni sono stati pubblicati sul tema varie monografie, articoli e diversi numeri speciali di riviste internazionali (Florio 2015) ed è in corso di preparazione un *Handbook of State-Owned Enterprises* (Routledge). In questo quadro, ci sembra interessante discutere di politiche di promozione (o sviluppo) di nuovi tipi di *imprese pubbliche come hub di conoscenza e orientate alla soluzione di grandi sfide scientifiche, tecnologiche e sociali*. L'obiettivo di queste imprese dovrebbe essere quello di mantenere, per quanto utile e possibile nella sfera pubblica, i ritorni economici della ricerca scientifica, contrastando così la formazione dei monopoli privati del sapere.

Il modello 'Ginevra' delle IR mostra come lo stato possa fare qualcosa che le imprese non possono fare: investire a lunghissimo termine nella conoscenza (progetti pluridecennali), scegliere di renderla accessibile gratuitamente o al costo, senza confini geografici o barriere legali, inventare nuove tecnologie di punta, gestire una organizzazione complessa con un management internazionale selezionato esclusivamente su criteri di merito e incentivato da motivazioni

intrinseche, non da premi finanziari. Questo miracolo, incomprensibile a chi pensa che le organizzazioni efficienti siano solo quelle orientate al profitto, può forse essere visto come un nuovo paradigma di politica pubblica. Il CERN potrebbe essere un esempio di frontiera, ma non un caso unico. Potrebbe invece essere paradigmatico di una classe potenzialmente ampia di imprese pubbliche di nuovo tipo. Imprese la cui missione preminente è quella di produrre conoscenza e renderla accessibile ma al tempo stesso sviluppare l'offerta di grandi innovazioni tecnologiche con modalità alternative al monopolio privato. Di seguito verrà argomentato che forse nessun investimento oggi potrebbe essere migliore per uno stato che sia guidato da una politica lungimirante.

Usiamo il termine impresa pubblica in questo contesto per enfatizzare un punto andato perso in trenta anni di politiche di privatizzazione. Lo stato non può essere solo un regolatore, deve anche essere in senso lato imprenditore, cioè produrre creativamente. L'unico modo perché una organizzazione apprenda è che faccia qualcosa che richieda la soluzione di problemi. In fondo questo è il messaggio importante della teoria della crescita endogena, e non vale solo per le imprese private. Uno stato che si limiti a regolare ciò che fanno gli altri non apprende e quindi in ultima analisi difficilmente crea benessere. Se preleva e redistribuisce risorse create altrove perde legittimazione, come stiamo vedendo nella nostra epoca di discredito della sfera pubblica. Chi si percepisce come un contribuente netto ha interesse a tirarsi fuori e a sostenere politici anti-politici, cioè a distruggere le basi della democrazia. E' una ricetta sicura per la polarizzazione sociale e in ultima analisi per la perpetuazione della disuguaglianza.

Per guadagnarsi il rispetto dei cittadini, uno stato deve produrre qualcosa di utile, e farlo con proprie organizzazioni dotate di una missione precisa. Sotto questo profilo le banche di sviluppo sono spesso un esempio di come imprese pubbliche dotate di una chiara missione possano fare un buon lavoro di sostegno all'innovazione. La Banca Europea degli Investimenti gode attualmente di un rating maggiore di quella del debito sovrano dei paesi che vi partecipano e ha un vasto portafoglio di operazioni nel campo dell'economia della conoscenza, con oltre 500 operazioni di finanziamento a soggetti privati e pubblici.<sup>31</sup> Si potrebbero fare diversi altri esempi di imprese pubbliche e banche di sviluppo che direttamente o indirettamente svolgono questo ruolo. Nel periodo 2001-13 queste operazioni sono state indirizzate a networks ICT per il 17%, 21% ricerca sviluppo e innovazione in generale, 5% imprese del settore dell'automobilistico, 5% R&S nelle imprese farmaceutiche, 15% R&S nelle altre imprese manifatturiere, 16% settore dell'istruzione, 13% R&S nel settore pubblico, e il rimanente in altri settori.

31 [http://www.eib.org/attachments/ev/ev\\_support\\_to\\_knowledge\\_economy\\_en.pdf](http://www.eib.org/attachments/ev/ev_support_to_knowledge_economy_en.pdf).

### 3.4. *Missioni pubbliche*

Abbiamo citato CERN, EMBL, BEI: organizzazioni sovranazionali europee. La frontiera della produzione di beni pubblici globali passa forse anche per l'abolizione delle frontiere attraverso imprese di nuovo tipo, in cui non solo non vi siano investitori privati, ma neppure stati nazionali egemoni. Il paradigma di Ginevra e del nuovo mondo della produzione di conoscenza è cosmopolita, non diversamente, ma più radicalmente, di quanto lo siano i gestori globali di informazione come Alphabet. L'agenda della costruzione di un nuovo portafoglio di imprese pubbliche potrebbe essere di preminente interesse per l'Europa, se mai la UE potesse uscire dal processo di autodistruzione innescato dal prevalere degli interessi e delle ideologie del neoliberismo e del nazionalismo.

Immaginiamo per un momento che si possa invece pensare nei termini di robusti progetti di imprese europee a missione pubblica, orientate alla conoscenza, come hub di iniziative di largo respiro. A titolo puramente di esempio, vi potrebbero essere cinque campi in cui queste organizzazioni, di cui vi sono già embrioni, potrebbero essere utili: transizione energetica, mobilità sostenibile, comunicazione digitale, salute e transizione demografica, cambiamento climatico e gestione dei grandi rischi .

#### *a) La transizione energetica*

Stiamo vivendo una transizione energetica di immensa portata, che consiste nel tentativo di risolvere per sempre uno dei problemi centrali dello sviluppo umano, quello di come usare la natura senza distruggerla per compiere lavoro (nel senso della fisica: energia associata ad uno spostamento (Welsch, 2017; Solomon and Krishna, 2011; Fouquet and Pearson, 2012; Araujo, 2014). Non possiamo inventare una macchina che crei il moto perpetuo senza dissipare energia, ma sappiamo che bruciare idrocarburi e combustibili nucleari non è la scelta giusta per i prossimi secoli. Per quanto importanti siano stati gli sforzi di alcuni governi europei (ad esempio la Danimarca) di promuovere le energie rinnovabili, come il solare e l'eolico, ci sono problemi tecnologici e scientifici tuttora irrisolti per cui il Kwh rinnovabile ancora non costa meno di quello fossile (Meyer, 2004 ; Parajuli, 2012 ; IRENA, 2017).). Possiamo andare oltre?

La UE finanzia un costosissimo progetto di ricerca sulla fusione nucleare (ITER), che ha tempi molto lunghi e che richiederebbe, anche se avesse successo, tecnologie sulla cui industrializzazione vi è molta incertezza. Nel frattempo, forse, oggi servirebbe una nuova organizzazione mission-oriented, con una agenda ambiziosa di ricerca su tutto lo spettro delle opzioni di R&S nel campo della generazione, distribuzione ed efficienza energetica, non solo quindi nel nucleare. Quello che si comincia ora a intravedere è un mondo in cui il costo marginale di

produzione e trasmissione di energia potrebbe diventare zero o estremamente piccolo. Le grandi imprese private o semipubbliche non possono investire nella scoperta dei principi tecnologici e scientifici che ne distruggerebbero la profittabilità, e infatti hanno spesso smesso di farlo o tagliato i budget di R&S. I governi nazionali hanno ideato costosi schemi di trasferimento in bolletta di sussidi alle imprese elettriche per gli investimenti sulle rinnovabili e per la capacità di riserva. Ma la via maestra non è il sussidio di tecnologie ancora immature, occorre un salto nella conoscenza che porti queste tecnologie a soppiantare definitivamente idrocarburi e nucleare. Un nuovo Euratom (quello attuale è inadeguato) dovrebbe essere piuttosto un CERN dell'energia, concepito come hub di imprese prevalentemente pubbliche alla frontiera dell'innovazione. Come si è ricordato, cento anni dopo l'articolo di Einstein sull'effetto fotoelettrico, sappiamo che occorre un ulteriore salto nella fisica dei pannelli solari. Attualmente, su scala globale solo il 2% dell'energia prodotta viene dal fotovoltaico, con una efficienza media inferiore al 20%. Le prime idee sulla fusione nucleare risalgono agli anni '20, ben prima del progetto Manhattan. ITER e DEMO, cento anni dopo, sono la strada giusta? Non è solo questione di generazione. Oggi la superconduttività (i magneti del CERN hanno richiesto tecnologie di avanguardia nel campo della criogenia e dei materiali, attentamente studiate ad esempio da EDF per possibili ricadute nella trasmissione elettrica) e la computerizzazione potrebbero rivoluzionare le reti. Per trarre fino in fondo le conseguenze dei principi scientifici della transizione energetica accorrebbe un'iniziativa pubblica sovranazionale che non sia paralizzata dalla consapevolezza che se ha successo il prezzo dell'elettricità potrebbe essere polverizzato e il ramo su cui siede segato. La sua missione non dovrebbe quindi essere legata ad un singolo progetto, sia pure fondamentale come la fusione nucleare, ma ad una missione più ampia: chiudere definitivamente con il progresso scientifico l'era dei combustibili fossili, della fissione nucleare, delle reti in rame, dello spreco energetico. Forse alcune delle imprese elettriche pubbliche europee potrebbero essere coinvolte in una missione di questo tipo attraverso contratti di programma o altri meccanismi. L'impatto su scala planetaria dell'uguaglianza sociale nell'accesso ad un nuovo modello energetico non può essere sottovalutata, se si considera quale impatto esso avrebbe sulla vita delle persone e sulla produttività delle imprese. Un esempio fra mille: in una recente tesi di dottorato presso l'università di Milano,<sup>32</sup> si mostra che in molti paesi africani (dati di survey della Banca Mondiale), le frequenti e imprevedibili interruzioni di corrente elettrica sono fra i principali ostacoli alla produzione manifatturiera e nei servizi (per l'Etiopia in particolare). Inoltre, nel 2016 la percentuale di popolazione senza accesso alla rete elettrica era dell'80% in

---

<sup>32</sup> Power outages, economic cost, and firm performance: Evidence from Ethiopia. Lamessa T. Abdisa, Utilities Policy, vol 53, August 2018.

Congo, del 60% in Etiopia, ecc. Sono problemi risolvibili con nuove tecnologie a basso costo (minigrids, fotovoltaico, accumulatori, ecc.).

*b) La mobilità sostenibile*

Sappiamo che il paradigma del motore che brucia idrocarburi è l'analogo della generazione elettrica convenzionale; che l'idea di un'automobile pro-capite non è compatibile con le nostre città; che l'abbattimento dei costi del trasporto aereo sta creando uno scenario di congestione dei cieli e degli aeroporti; che il trasporto via mare e gomma di merci crea problemi ambientali enormi. Il rapporto Global Mobility (OECD, 2017) dimostra che siamo ben lontani da un modello di mobilità sostenibile.

Non sappiamo ancora bene con che cosa sostituire il mondo dei trasporti che conosciamo e non sembra che le soluzioni possano venire dalla R&S di chi in definitiva vuole vendere più automobili, più aerei, più portacontainer. Se davvero andiamo verso l'automobile privata senza guidatore, questo potrebbe essere un esempio della torsione privatistica del progresso scientifico. Un progresso ben più significativo potrebbe essere piuttosto come fare a meno dell'automobile. Ma come? Non è solo una questione di scelte politiche, come se bastasse ordinare ai popoli di andare in bicicletta, ma soprattutto di innovazione tecnologica radicale. Anche qui occorrerebbe un soggetto che - non motivato dal profitto che ne può trarre, ma dal benessere sociale che ne può derivare - metta a disposizione di tutti le conoscenze necessarie per uscire dal modello attuale di mobilità. Non saranno le società che producono automobili, nemmeno se a partecipazione pubblica come Renault e Volkswagen a risolvere il problema, a meno di non essere attratte in una diversa agenda. Occorrerebbe un soggetto pubblico che cambi le regole del gioco e che si ponga il problema di come la scienza e nuove tecnologie possano in primo luogo drasticamente diminuire la necessità di costosamente spostare merci e persone nello spazio fisico, ovvero possano farlo con costi ambientali ed economici molto minori di quelli attuali. Ad esempio, la tecnologia che supporta Skype e servizi analoghi gratuiti rende, di fatto, spesso poco efficienti le riunioni virtuali per la qualità del segnale. Questo dipende da una serie di problemi tecnici noti agli esperti di telecomunicazioni, che sarebbero tuttavia risolvibili con un miglioramento nelle reti e forse nei protocolli. Inoltre la necessità di spostare nello spazio merci e persone dipende forse anche dall'insufficiente sviluppo di alcune tecnologie (come la stampa 3D e internet-of-things), che peraltro pongono nuovi problemi sociali. Sotto il profilo dell'uguaglianza, si consideri quanto importante sarebbe per le aree più disagiate, non solo nei PVS ma anche nei territori del nostro stesso paese, potere evitare il costo (di tempo, di fatica, di stress psicologico) derivante dal fatto che

milioni di persone ogni mattina e ogni sera migrano fisicamente dalla abitazione al posto di lavoro quando sarebbero disponibili tecnologie che riducano fortemente questo immenso spreco di risorse.

### *c) L'economia digitale*

Ancora più evidente forse è la maturità di una nuova impresa pubblica che rompa le barriere che ci costringono a pagare un prezzo per la comunicazione digitale e per l'elaborazione dei dati, quando sono a portata di mano le innovazioni che renderebbero pari a zero il costo marginale di elaborare e trasmettere l'informazione elettronica in ogni sua forma: voce, dati, contenuti. Abbiamo già citato Arpanet e il World Wide Web. La tecnologia dei satelliti di telecomunicazione, meteorologici, ecc. nasce da ricerche di US Navy e dallo Sputnik sovietico (ne sono stati lanciati oltre 14.000 da allora e ci sono oggi in orbita forse 4.000 satelliti attivi, con milioni di scorie). La fibra ottica è nata dalla ricerca universitaria indipendente in UK e altrove. Le potenzialità che potrebbero derivare dagli sviluppi di campi come i computer quantistici e la nuova fisica dei materiali applicata all'economia digitale sono immensi, ma non si può pretendere che siano sviluppate solo o principalmente dalle imprese di information technology che vivono dal far pagare un prezzo agli utenti per ogni bit processato, quando con le nuove tecnologie il costo marginale è zero. Anche in questo caso occorrerebbe un nuovo soggetto mission-oriented, andando oltre lo stillicidio di modesti e frammentari sussidi pubblici nel campo della 'agenda digitale'. Ad esempio, iniziative -peraltro private- come OneWeb<sup>33</sup> mostrano che esistono tecnologie con cui sarebbe possibile nel giro di un decennio chiudere completamente il digital divide, portando internet a banda larga nel 50% del mondo non connesso, attraverso una flotta di 900 piccoli satelliti non geostazionari prodotti industrialmente e con terminali di ricezione a basso costo. L'impatto ad esempio sulle scuole rurali, sulle opportunità di lavoro nei PVS e nei territori disagiati, sulla prevenzione dei rischi potrebbe trasformare il mondo come lo conosciamo. L'instabilità della base finanziaria delle iniziative private in questo campo suggerisce che un'impresa pubblica internazionale connessa alle agenzie spaziali potrebbe realizzare una rete globale a costo marginale nullo in tempi relativamente brevi, su frequenze attualmente libere.

### *d) La transizione demografica*

La transizione demografica globale in corso ha due aspetti: l'invecchiamento della popolazione (oramai non solo in Occidente) e le grandi migrazioni. Sono tendenze epocali in questa misura del tutto inedite. La prima deriva dall'allungamento della speranza di vita e dalla procreazione responsabile, e pone alla ricerca in campo sanitario sfide cui il modello attuale di cure

---

33 <http://www.oneweb.world>

è impari. Tale modello è basato sulle imprese private della salute (farmaceutiche, elettromedicali, ecc.). Negli Usa e altrove tutto funziona con assicurazioni e altre organizzazioni basate sulla rendita finanziaria. Le une e le altre sono più ostacoli che elementi favorevoli al salto di qualità della conoscenza necessaria per scoprire, ad esempio, farmaci antitumorali che non costino direttamente al paziente o indirettamente al contribuente centinaia di migliaia di euro per anno di vita guadagnato. Si potrebbe immaginare un CERN della medicina, anche studiando il caso degli National Institutes of Health, l'organizzazione pubblica USA nel Maryland che raggruppa 27 istituti di ricerca, ospitati in 75 fra edifici e laboratori, universalmente considerata l'eccellenza mondiale nel campo (ha contribuito a 156 premi Nobel)<sup>34</sup>. Si dovrebbe reinventare la relazione fra una grande impresa scientifica di questo tipo e la sanità pubblica del modello europeo, che peraltro nulla ha da imparare dagli USA, e rompere il tabù per cui gli stati non possono produrre i farmaci e i servizi che per lo più, in Europa, essi stessi acquistano.

A fronte dell'invecchiamento sta il declino demografico nelle economie sviluppate e le migrazioni di massa dal Sud, dove le malattie e la denutrizione si accompagnano a guerre e sottosviluppo. Le risorse necessarie per affrontare alcune di queste sfide in Africa non sono solo quelle della cooperazione allo sviluppo, ma anche quella della scienza. Siamo ben lontani da avere messo a punto le soluzioni scientifiche, tecnologiche ed economiche per assicurare una convivenza pacifica fra la natura del pianeta e i suoi 7,5 miliardi di abitanti o i forse 9,7 miliardi previsti nel 2050<sup>35</sup>. Negli ultimi quindici anni il genere umano è cresciuto di un miliardo, cioè come tutta la popolazione del mondo subito prima della rivoluzione industriale, all'inizio dell'800. Non sappiamo affatto come gestire la combinazione di rischi ambientali, demografici, sanitari che ci aspettano, mentre i demagoghi invocano muri e torri di guardia. Non è solo questione di politiche che sarebbero giuste e che non si riescono ad attuare per interessi e miopia (come la prevenzione delle malattie banali nei PVS). Quella è metà del problema. L'altra metà è che non abbiamo ancora le conoscenze e gli strumenti operativi necessari per evitare, ad esempio, una imminente catastrofe alimentare e sanitaria africana, di cui vediamo solo piccole avvisaglie sulle barche dei disperati. La Green Revolution in India negli anni '60 è un esempio di come la genetica possa contribuire ad affrontare il problema delle carestie (Chakravarti, 1973; Sen, 1974), ma illustra anche quali problemi oggi ponga la mancanza di una rete globale di imprese no-profit che mettano a disposizione dei PSV alternative a quelle insostenibili oggi offerte dalle multinazionali delle biotecnologie. Monsanto (ora acquisita da Bayer) non ha le stesse motivazioni alla ricerca che potrebbe avere una agenzia pubblica sovranazionale che si occupasse in modo integrato di salute,

---

34 <https://www.nih.gov/about-nih/what-we-do/nih-almanac/nobel-laureates>

35 <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/2015-report.html>

alimentazione e sostenibilità ambientale, collaborando con i PVS ad una offerta al costo di soluzioni di avanguardia in questi campi.

*e) Cambiamento climatico e grandi rischi ambientali*

Infine, la ricerca sui grandi rischi fra cui soprattutto, ma non solo, quelli che derivano dal cambiamento climatico<sup>36</sup>(OECD, 2015), potrebbe essere matura per un salto di qualità basato su un progetto di messa in sicurezza del pianeta. Ci sono stati grandi progressi nella previsione dei fenomeni meteorologici grazie alle tecnologie di osservazione terrestre e ai modelli matematici dell'atmosfera. Inoltre, oggi abbiamo una capacità nuova di monitoraggio dell'ambiente marino e terrestre, ma siamo ben lontani da disporre del sapere operativo necessario per fare fronte agli scenari a lungo termine che il riscaldamento globale prospetta. Alcuni dei temi accennati sopra sono peraltro strettamente intrecciati. Nuove tecnologie per l'energia, la comunicazione digitale, il trasporto e il controllo dei grandi fenomeni demografici sono essenziali per fare fronte al cambiamento climatico e i suoi effetti, ma poi occorrono anche passi avanti importanti e radicali che non siano solo legati a politiche, ma anche dalla capacità di intervento pubblico diretto con strumenti operativi basati sulla conoscenza. L'idea che tutto si possa fare con politiche e trattati, peraltro esposti al *free riding*, è illusoria. La scienza e la tecnologia di un mondo il cui clima sta cambiando si apprendono intervenendovi e occorrono organizzazioni che facciano esperienze concrete.

#### **4. Conclusioni**

L'appropriazione di conoscenze è oggi forse più importante della proprietà di capitali tangibili nel determinare la distribuzione dei redditi. In che modo in concreto si potrebbe quindi contrastare l'appropriazione privata, inevitabilmente oligopolistica, dei risultati della ricerca? La nostra proposta è che coalizioni di governi lungimiranti, se ne esistessero, dovrebbero promuovere hub tecnologici sovranazionali di imprese dove si concentri e da cui si diffonda la migliore ricerca del mondo, dove attivamente si promuova il trasferimento tecnologico alle imprese pubbliche e private degli stati membri e terzi, dove la missione pubblica, chiara e riconoscibile, sia quella di spostare in una ottica a lungo termine ciò che sappiamo in alcuni campi cruciali. La nostra idea è che organizzazioni quali CERN, EMBL, ESA, organismi multinazionali espressione di comunità scientifiche di decine di migliaia di ricercatori con il supporto di attori finanziari pubblici come la BEI, evolvano come hub di trasferimento scientifico e tecnologico, creando essi stessi o partecipando a clusters di imprese pubbliche, miste o forse anche private fra loro consorziate e orientate a missioni pubbliche di ampio respiro. Andrebbe preservato il modello delle IR che

<sup>36</sup> Si veda il rapporto «Climate Change Risks and Adaptation»



abbiamo descritto nella sezione 2, associandovi finalità che si misurano anche con le ricadute applicative ed economiche.

I meccanismi finanziari per sostenere questi grandi progetti possono essere vari e la loro discussione esula da quanto qui possiamo fare, ma essenzialmente si tratterebbe di due tipi di schemi:

- a) Ricavi diretti derivanti dalla vendita sul mercato di prodotti e servizi innovativi, o di licenze, a prezzi pari al costo medio quando questo sia socialmente accettabile;
- b) Ricavi indiretti derivanti da contratti di programma con gli stati partecipanti in relazione ad obiettivi raggiunti quando è più efficiente praticare prezzi nulli o pari ad un costo marginale inferiore al costo medio.

Per quanto concerne il primo caso, la politica attuale da parte delle IR e dei governi che le sostengono è quella della donazione al mondo senza alcuna condizione delle conoscenze acquisite. Sembra un modo progressista di organizzare la scienza. Ma se un nuovo farmaco può essere brevettato a valle della ricerca di base pubblica o sostenuta da fondi pubblici, forse la cosa migliore sarebbe che sia un soggetto pubblico a svilupparlo, forse a produrlo, e/o successivamente a concedere le licenze a condizioni socialmente accettabili. Non è affatto chiaro quale sia oggi il ruolo innovativo a lungo termine delle multinazionali farmaceutiche che a causa dei costi dei trials clinici e per altre ragioni in realtà stanno ritirandosi dalla ricerca più rischiosa, ed in ogni caso dalla ricerca su farmaci non remunerativi, e nel frattempo praticano un sistema di prezzi inefficiente (cfr. Appendice). A questo punto tanto vale che i proventi della ricerca ritornino al settore pubblico e che il controllo sui prezzi segua criteri equitativi e non di massimo profitto monopolistico. Esempi analoghi si possono fare nel campo della comunicazione digitale e dell'energia.

Per quanto riguarda i ricavi indiretti, le imprese partecipanti a queste iniziative andrebbero compensate anche per quanto fanno risparmiare ai governi e ai cittadini. Ad esempio, innovazioni che abbattano i costi energetici e il riscaldamento globale per definizione non hanno ricavi di mercato, ma possono essere remunerate con contratti di programma perché in definitiva i contribuenti presenti e futuri guadagnerebbero anche economicamente da queste innovazioni.

Non è scritto nella pietra che scienza e tecnologia debbano contribuire alla disuguaglianza, al contrario. Occorre tuttavia che la produzione di scienza su larga scala e le sue ricadute economiche siano governate per evitare la formazione di monopoli privati più potenti di quelli che hanno dominato il secolo scorso nel campo dell'energia e delle materie prime. E' forse a portata di mano una grande trasformazione dei rapporti di produzione basata su tecnologie di produzione a costi marginali tendenzialmente nulli. Uno scenario in cui energia, informazione, mobilità, salute e

alimentazione, ambiente siano un po' meno appropriate da monopoli privati e un po' più offerte in modo socialmente efficiente da nuovi tipi di impresa pubblica potrebbe avere effetti importanti sulla riduzione delle disuguaglianze. Gli esempi che abbiamo fatto, in modo molto frammentario e schematico, sono solo illustrativi di che cosa una politica pubblica della scienza lungimirante potrebbe fare. La creazione di reti di imprese pubbliche europee di questo tipo, non solo agenzie di finanziamento della ricerca, ma vere e proprie organizzazioni con capacità autonoma di fare e di apprendere, forse potrebbe dare un senso nuovo all'Unione Europea. Un senso basato non sull'imitazione del modello USA (che in definitiva presuppone una ricerca essenzialmente basata sul finanziamento del complesso militare-industriale), ma su una via europea più avanzata ed originale. Si tratta di modificare per quanto possibile un modello di creazione e sfruttamento della conoscenza che ha implicazioni distributive forse mai ben misurate, ma sicuramente penetranti, data la natura del capitalismo contemporaneo.

Ci rendiamo conto che queste idee sono sommarie, vaghe, e cadono in un momento difficile. Siamo consapevoli dei limiti del nostro discorso. Ma ci premeva indicare in che direzione la ricerca scientifica e un'iniziativa pubblica oggi potrebbero contribuire a risolvere le grandi disuguaglianze che minacciano il nostro futuro.

### **Appendice. Pubblico e private nella ricerca farmaceutica.**

Secondo Prasad et al (2017) la spesa annua globale per farmaci antitumorali è nell'ordine di 100 miliardi di dollari. Negli USA il costo per paziente di un nuovo farmaco antitumorale è di circa 100 mila dollari all'anno, con significativi aumenti dei prezzi di lancio di anno in anno (del 10% secondo Howard et al 2015). Quanto dei relativi costi di ricerca è sostenuto dai contribuenti?

Un recentissimo articolo, Cleary et al (2018), pubblicato da PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America) consente per la prima volta di stimare il valore del contributo dei National Institutes of Health (la più grande infrastruttura pubblica di ricerca del mondo in campo biomedico) alla messa a punto di farmaci.

Il NIH, che fa parte del Department of Health (il ministero della salute del governo USA), ha un bilancio annuale di circa USD 30 miliardi, un terzo più della NASA, e 30 volte il CERN<sup>37</sup>, e ospita 1.200 'principal investigators' e 4.000 ricercatori post-doc, che afferiscono a 27 istituti nel campus di Bethesda (Maryland). La ricerca svolta direttamente da NIH, o sostenuta attraverso i grants alle università e altri istituti, comprende una varietà di campi, dal cancro all'HIV, dall'invecchiamento all'alcolismo e ai disordini mentali. NIH insieme al Department of Energy è stata l'istituzione chiave per l'avvio di HGP.

37 <https://www.nih.gov/about-nih/who-we-are>

Cleary et al (2018) hanno studiato il contributo che NIH ha apportato a ciascuno dei 210 farmaci approvati fra il 2010 e il 2016 dalla Food and Drug Administration, l'autorità di regolazione dell'industria negli USA, il più grande mercato del mondo per i farmaci. I risultati sono i seguenti:

- Il contributo cumulativo di NIH alla ricerca che sta alla base di questi farmaci è stato di oltre 100 miliardi di dollari, (20 % del budget NIH) corrispondenti a oltre 200.000 anni/ricercatore (1985-2016) e di 115 miliardi considerando un altro fondo pubblico (ARRA);
- Oltre il 90% dei fondi ha riguardato lo studio dei targets (ovvero gli obiettivi biologici dei farmaci, l'aspetto più critico della ricerca)
- Lo studio ha identificato oltre due milioni di pubblicazioni scientifiche connesse ai 210 farmaci e ai 151 target biologici, di cui 600.000 lavori citano NIH come finanziatore.
- Il contributo pubblico medio per ciascun principio attivo brevettato dalle imprese farmaceutiche è di circa 840 milioni di dollari.

La maggioranza dei farmaci approvati sono antitumorali, anti-infettivi (particolarmente AIDS ed epatiti) seguiti da farmaci relativi a malattie del metabolismo, cardiovascolari, immunologiche, e del sistema nervoso centrale.

Una volta identificato il target biologico, più di un farmaco efficace può essere identificato a valle e vi sono importanti interazioni fra i due livelli della ricerca (targets e nuove entità molecolari). Il modello tradizionale della ricerca farmaceutica presuppone che la ricerca di base sia svolta dal settore pubblico nei propri laboratori o nelle università con il sostegno del settore pubblico, e che invece, la proprietà intellettuale venga trasferita al settore privato. Le società farmaceutiche a loro volta sviluppano la ricerca preclinica e clinica, ottengono l'approvazione del regolatore e si occupano di produzione, distribuzione, marketing, finanziando queste attività con profitti pregressi e con la ricerca di nuovi capitali. Secondo alcuni studi, tuttavia piuttosto contestati, data l'opacità dei dati disponibili da parte delle multinazionali farmaceutiche, ogni nuovo farmaco costerebbe alle imprese 1,4 miliardi di dollari di R&S (era forse 800 milioni di dollari dieci anni fa) e un investimento complessivo di 2,5 miliardi.

Secondo gli autori, la letteratura precedente alla loro ricerca riteneva che 6–10% dei nuovi principi attivi (NME, new molecular entities) era originariamente brevettato dal settore pubblico o da università, che metà dei brevetti totali citava ricerche precedenti nel settore pubblico, che fino al 40% dei nuovi principi attivi era stato sintetizzato nelle università. La letteratura sui 'case studies' identifica dal 50 al 75% di frequenza del contributo pubblico ai nuovi farmaci. Il nuovo studio degli autori mostra che per il periodo da loro esaminato, il ruolo del settore pubblico è invece molto

più alto: 198 su 210 casi per i NME e il 100% dei targets. La differenza fondamentale è metodologica, dato che gli studi precedenti si basavano soprattutto le citazioni nei brevetti, mentre gli autori hanno considerato le citazioni dei fondi nelle pubblicazioni, che sono un indicatore molto più appropriato per la ricerca di base.

Nelle parole degli stessi autori:

These data demonstrate that a sizable public-sector investment occurs before the approval of first-in-class NMEs, particularly those discovered using targeted discovery methods (including recombinant biologicals). The scale of this investment can be estimated from the costs associated with first-in-class NMEs approved in 2010–2016 and their molecular targets ... These data suggest that the public-sector investment in research underlying each first-in-class drug is as high as \$839 million, with 89% of this cost associated with target research and 11% of the cost associated with the first-in-class compound or follow-on compounds approved from 2010–2016... It is also likely that basic research on drug targets has spillover effects that could lead to new classes of products that are not yet anticipated as well as to new diagnostics, devices, or approaches to disease management.

Se la stima del sostegno pubblico di poco meno di 840 milioni di dollari per farmaco proposta da questo studi è corretta, questo implica, prendendo a riferimento l'investimento delle imprese farmaceutiche di 1.4 miliardi proposto dalla letteratura, che il settore pubblico si è fatto carico direttamente del 37.5% del costo della ricerca.

Tuttavia un lavoro recente (Prasad e Mailankody 2017) sostiene che il costo medio di sviluppo di un antitumorale riportato in dieci casi (2006-2015) dalle imprese quotate in borsa è di 648 milioni USD con mediana dei ricavi successivi (tempo mediano 4 anni) di 1.648 miliardi (media 7 miliardi). Questa stima dei costi di R&D delle imprese è molto più bassa di quella in altre fonti<sup>38</sup>. In questo caso il contributo pubblico sarebbe addirittura maggiore di quello privato.

Non siamo in grado qui di prendere posizione su quanto sia in realtà la spesa di R&S sostenuta dalle imprese farmaceutiche per farmaco. Osservatori indipendenti hanno spesso fatto notare che le spese di R&D dichiarate delle imprese farmaceutiche, comprese le spese per i progetti che non hanno successo (pare il 90%), sono basate su dati forniti dalle imprese stesse, che hanno la necessità di giustificare il prezzo dei farmaci stessi. Ancora più difficile è esattamente decifrare i profitti. Secondo un ex presidente della ricerca di una grande azienda farmaceutica in USA (Pfizer) non sarebbero eccessivi<sup>39</sup>:

The average return on equity for key industries from 2014 – 2016 shows that biopharma's profits stand at 16.2%, significantly lower than Computer Sciences (31.6%), Beverages (27.4%), Aerospace/Defense (23.0%), and Trucking (19.1%) while modestly higher than Software System/Applications (15.2%) and Healthcare Support Services (14.4%).

<sup>38</sup>Si veda l'articolo in <https://www.forbes.com/sites/matthewherper/2017/10/16/the-cost-of-developing-drugs-is-insane-a-paper-that-argued-otherwise-was-insanely-bad/#34daba832d45> oppure si vedano le fonti citate in [https://en.wikipedia.org/wiki/Cost\\_of\\_drug\\_development](https://en.wikipedia.org/wiki/Cost_of_drug_development).

<sup>39</sup> <https://www.forbes.com/sites/johnlamattina/2018/01/23/about-those-soaring-pharma-profits/#179f19553f9d>

Resta il fatto che una parte consistente dei costi di ricerca farmacologica non sono internalizzati dalle imprese, ma sostenuti dai contribuenti e che i prezzi dei nuovi farmaci sono cresciuti molto di più dei prezzi di altri prodotti, creando rilevanti problemi ai sistemi sanitari. La contabilità sociale del settore, alla luce di lavori come quelli di Cleary et al (2018) sarebbe da rivedere, cfr. anche Mazzucato e Roy (2018).

## Bibliografia

- Abdisa, Lamessa T. "Power outages, economic cost, and firm performance: Evidence from Ethiopia." *Utilities Policy* 53 (2018): 111-120.
- Araujo K. (2014). "The emerging field of energy transitions: Progress, challenges, and opportunities." *Energy Research & Social Science*, 112-121.
- Archibugi, Daniele, and Andrea Filippetti. "Knowledge as global public good." in Archibugi, Daniele, and Andrea Filippetti editors, *Handbook of global science, technology and innovation*, Wiley Blackwell: Oxford, (2015): 1-27.
- Aschhoff B., and Sofka W. (2009). "Innovation on demand-can public procurement drive market success of innovations?" *Research Policy*, vol. 38(8): 1235-1247.
- Autio, E., A.P. Hameri, and O. Vuola (2004). "A framework of industrial knowledge spillovers in big-science centers." *Research Policy*, 33(1), 107-126.
- Bastianin, Andrea, and Massimo Florio. 2018. Social Cost Benefit Analysis of HL-LHC. No. CERN-ACC-2018-0014. FCC-DRAFT-MGMT-2018-001.
- Battistoni G., Genco M., Marsilio M., Pancotti C., Rossi S. and Vignetti S. (2016). "Cost-benefit analysis of applied research infrastructure. Evidence from health care", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 112: 79-91.
- Benassi, Mario, and Matteo Landoni. "State-owned enterprises as knowledge-explorer agents." *Industry and Innovation* (2018): 1-24
- Bernardo Bortolotti, Veljko Fotak and Brian Wolfe (2018). *Innovation and State Owned Enterprises*, Bocconi working paper n. 72, March 2018
- Block F., Keller M.R., 2011, *State of innovation. The US government's role in technology development*, Paradigm, London
- Boisot, Max, Markus Nordberg, M., Said Yami, & Bertrand Nicquevert. 2011. *Collisions and Collaboration: The Organization of Learning in the ATLAS Experiment at the LHC*. Oxford University Press.
- Bousfield, David, et al. [Version 1] "Patterns of database citation in articles and patents indicate long-term scientific and industry value of biological data resources." *F1000Research* 5 (2016) doi:(10.12688/f1000research.7911.1). [Referees: 3, approved] Johanna McEntyre, Sameer Velankar, George Papadatos, Alex Bateman, Guy Cochrane, Jee-Hyub Kim, Florian Graef, Vid Vartak, Blaise Alako.
- Bozeman, Barry. "Technology transfer and public policy: a review of research and theory." *Research policy* 29.4-5 (2000): 627-655.
- Brent, R. J. (2006). *Applied cost-benefit analysis*, 2nd ed, Cheltenham (UK). Edward Elgar Publishing.
- Camporesi, T., Catalano, G., Florio, M., and Giffoni, F. (2017), *Experiential learning in high energy physics: a survey of students at the LHC*, in «*European Journal of Physics*», 38, 2.
- Carrazza, Stefano, Alfio Ferrara, and Silvia Salini. 2016. 'Research infrastructures in the LHC era: a scientometric approach.' *Technological Forecasting and Social Change* 112: 121-133.
- Carson, Richard T., et al. "Contingent valuation and lost passive use: damages from the Exxon Valdez oil spill." *Environmental and resource economics* 25.3 (2003): 257-286.

- Castelnovo Paolo, Massimo Florio, Stefano Forte, Lucio Rossi, and Emanuela Sirtori. 2018. 'The economic impact of technological procurement from large-scale research infrastructure: evidence from the large hadron-collider at CERN', *Research Policy*, 47.9: 1853-1867.
- Castelnovo, Paolo, Chiara F. Del Bo, and Massimo Florio. "Quality of institutions and productivity of State- Invested Enterprises: International evidence from major telecom companies." *European Journal of Political Economy*, forthcoming.
- Chakravarti A. K.(1973). "Green Revolution in India." *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 63(3): 319-330.
- Choi, Serene. H. J., Maren Funk, Susan Roelofs, Martha Alvarez-Elizondo, & Timo Nieminen. 2011. 'International research work experience of young females in physics.' arXiv:1101.1758.
- Cleary et al. "Contribution of NIH funding to new drug approvals 2010–2016." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115.10 (2018): 2329-2334.
- de Solla Price, Derek. J. 1963. *Little science, big science*, Columbia University Press Edition 10, 12-19.
- de Solla Price, Derek. J. 1986. *Little science, big science... and beyond*, New York: Columbia University Press
- Edler, J. and Georghiou, L. (2007). "Public procurement and innovation. Resurrecting the demand side." *Research Policy*, Vol. 36(7): 949–963.
- Edquist C. and Zabala-Iturriagagoitia J. M. (2012). "Public Procurement for Innovation as Mission-Oriented Innovation Policy." *Research Policy*, vol. 41 (10): 1757-1769.
- Edquist,C., Vonortas N.S., Zabala-Iturriagagoitia J. M. and J. Edler. (2015). "Public Procurement for Innovation." Edward Elgar Publishing: Cheltenham, UK. ESFRI (2016), Strategy Report on Research Infrastructures. Available at <http://www.esfri.eu/roadmap-2016>.
- EMBL-EBI. 2016. Impact Report 2016, [https://www.ebi.ac.uk/sites/ebi.ac.uk/files/groups/external\\_relations/Documents/EMBL-EBI\\_Impact\\_Report\\_2016\\_web.pdf](https://www.ebi.ac.uk/sites/ebi.ac.uk/files/groups/external_relations/Documents/EMBL-EBI_Impact_Report_2016_web.pdf)
- ESFRI. 2016b. Strategy report on research infrastructure, Roadmap 2016, available at [http://www.esfri.eu/sites/default/files/20160308\\_ROADMAP\\_single\\_page\\_LIGHT.pdf](http://www.esfri.eu/sites/default/files/20160308_ROADMAP_single_page_LIGHT.pdf)
- ESFRI. 2018. Strategy Report on Research Infrastructures, Roadmap 2018, available at: <http://roadmap2018.esfri.eu/>
- European Commission. 2014. *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*, Directorate-General for Regional and Urban policy.
- Ferrara, Alfio, and Silvia Salini. 2012. 'Ten challenges in modeling bibliographic data for bibliometric analysis.' *Scientometrics*, 93.3: 765-785.
- Florio M (2019), *Investing in Science. Social Cost-Benefit Analysis of Research Infrastructures*, in corso di pubblicazione, MIT Press
- Florio M. e Giffoni F., (2018), *Scientific Research at CERN as a Public Good: A Survey to French Citizens*, CERN-ACC-2018-0024, 23 August 2018.
- Florio, M., Giffoni, F., and Catalano, G. "Should Governments Fund Basic Science? Evidence from a Willingness-to-pay Experiment in Five Universities", *Journal of Economic Policy Reform*, forthcoming (2018).

- Florio M. (2017). “Un’agenda per lo Stato imprenditore di conoscenza.” *Italianieuropei*, 2/2017 (<https://italianieuropei.it/italianieuropei-2-2017/item/3852-un%E2%80%99agenda-per-lo-stato-imprenditore-di-conoscenza.html>)
- Florio, Massimo, Stefano Forte, and Emanuela Sirtori. 2016. ‘Forecasting the socio-economic impact of the Large Hadron Collider: A cost–benefit analysis to 2025 and beyond.’ *Technological Forecasting and Social Change* 112: 38-53.
- Florio M. and Sirtori E. (2016). “Social benefits and costs of large scale research infrastructures.” *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 112: 65-78.
- Florio M., Forte S., Pancotti C., Sirtori E., Vignetti S. (2016). “Exploring Cost -Benefit Analysis of Research, Development and Innovation Infrastructures: An Evaluation Framework.” CSIL Working Paper N. 01/2016
- Florio M., (2015), *The Future of Public Enterprises: Another Look to an Old Idea* in Bernier L., ed., *Public Enterprises Today: Missions, Performance and Governance*, Bruxelles, Peter Lang.
- Fouquet R. and Pearson P.J.G. (2012). “Past and prospective energy transitions: Insights from history.” *Energy Policy*, vol. 50: 1-7.
- Galison, Peter, and Bruce Hevly W. 1992. *Big science: The growth of large-scale research*, Stanford University Press.
- Gosling, Francis George. 1999. *The Manhattan Project: making the atomic bomb*. Diane Publishing.
- Hallonsten, Olof. 2016. *Big Science Transformed*. Palgrave Macmillan.
- Howard, David H., et al. "Pricing in the market for anticancer drugs." *Journal of Economic Perspectives* 29.1 (2015): 139-62.
- Hughes, Jeff A. 2002. *The Manhattan Project: big science and the atom bomb*. Columbia University Press.
- IRENA, International Renewable Energy Agency (2017). *Renewable Power Generation Costs in 2017*. Available at: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA\\_2017\\_Power\\_Costs\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf)
- Johnston, R. J., Boyle, K. J., Adamowicz, W., Bennett, J., Brouwer, R., Cameron, T. A., ... & Tourangeau, R. 2017. Contemporary guidance for stated preference studies. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4(2), 319-405.
- Knutsson, H. and A. Thomasson (2014), ‘Innovation in the public procurement process: a study of the creation of innovation-friendly public procurement,’ *Public Management Review*, 16(2), 242–255.
- Lafleur Claude. 2010. ‘Costs of US piloted programs’ *The Space Review*, 8. <http://www.thespacereview.com/article/1579/1>
- Landoni, Matteo. (2013). *Lo sviluppo dell'industria spaziale italiana: Coevoluzione di imprese e istituzioni nazionali dello spazio, 1969-2007*.
- Lucas, R. (1990). “Why doesn't Capital Flow from Rich to Poor Countries?.” *American Economic Review*, 80 (2): 92–96.
- Lundvall, Bengt-Ake. 1985. ‘Product innovation and user-producer interaction.’ *The Learning Economy and the Economics of Hope*, Anthem Press, London.
- Martin B.R. and Tang P. (2007). *The benefits from Publicly Funded Research*, SPRU Electronic Working Paper Series, Paper no. 161, University of Sussex, Brighton.



- Martin, Ben R. 1996. 'The use of multiple indicators in the assessment of basic research.' *Scientometrics*. 36.3: 343-362.
- Martin, Ben R., and Irvine John. 1984a. 'CERN: Past performance and future prospects: CERN's position in world high-energy physics'. *Research Policy* 13, no. 4: 183-210
- Martin, Ben R., and Irvine John. 1984b. 'CERN: Past performance and future prospects: III. CERN and the future of world high-energy physics'. *Research Policy*, 13(6), 311-342.
- Mazzucato M. (2017). "Mission-Oriented Innovation Policy: Challenges and Opportunities." UCL Institute for Innovation and Public Purpose Working Paper, (2017-1).
- Mazzucato M. (2018). Mission-Oriented Research & Innovation in the European Union. A problem-solving approach to fuel innovation-led growth. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation (available at: [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/mazzucato\\_report\\_2018.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/mazzucato_report_2018.pdf))
- Mazzucato M. and Roy V. (2018), Rethinking value in health innovation: from mystifications towards prescriptions, *Journal of Economic Policy Reform*, DOI: 10.1080/17487870.2018.1509712
- Meyer N.I. (2004). "Renewable energy policy in Denmark." *Energy for Sustainable Development*, vol. 8(1): 25-35.
- Nordberg, M., A. Campbell and A. Verbeke (2003), 'Using customer relationships to acquire technological innovation: a value-chain analysis of supplier contracts with scientific research institutions,' *Journal of Business Research*, 56(9), 711–719.
- OECD (2015). "Climate Change Risks and Adaptation." *Linking Policy and Economics*. Available at: <http://www.oecd.org/finance/climate-change-risks-and-adaptation-9789264234611-en.htm>
- OECD (2017). "The Global Mobility Report." Available at: <https://www.itf-oecd.org/global-mobility-report-launched>
- OECD, 2014, Report on the Impacts of Large Research Infrastructures on Economic Innovation and on Society, Case Studies at CERN Global Science Forum Report (Paris: OECD Publishing).
- Parajuli R. (2012). "Looking into the Danish energy system: Lesson to be learned by other communities." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16: 2191- 2199.
- Pearce, D. W., S. Mourato, and Maria Pollicino. "The economics of cultural heritage." *World Bank Report, CSERGE, University College London* (1998).
- Pinski, Gabriel, Francis Narin. 1976. 'Citation influence for journal aggregates of scientific publications: Theory, with application to the literature of physics'. *Information Processing & Management*, 12.5: 297-312.
- Riordan M, Hoddeson L, Kolb A, 2015 Tunnel visions. The rise and the fall of the Superconducting Super Collider. Chicago University Press
- Romer P.M. (1990). "Endogenous Technological Change." *Journal of Political Economy*, vol. 98 (5): S71-S102.
- Rosen, Harvey S., Ted Gayer, and Chiara Rapallini. *Scienza delle finanze*. McGraw-Hill, 2007.
- Scott, David Meerman, and Richard Jurek. 2014. *Marketing the moon: The selling of the Apollo lunar program*. MIT Press.
- Solomon B.D. and Krishna K. (2011). "The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook." *Energy Policy*, vol. 39: 7422-7431.

- Sorenson, O. (2017), 'Innovation policy in a networked world,' NBER Working Paper, No. 23431, Cambridge, MA.
- Squire, L. and Van der Tak H.G. (1975) *Economic analysis of projects*, Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Sterlacchini A. (2012). "Energy R&D in private and state-owned utilities: An analysis of the major world electric companies." *Energy Policy*, vol. 41(C): 494-506.
- Stiglitz, Joseph E. "Knowledge as a global public good." in Inge, K., Grunberg, I., and Stern, M. editors, *Global public goods: International cooperation in the 21st century*, Oxford University Press, (1999): 308-25.
- Tresch, Richard W. *Public Sector Economics*. Palgrave MacMillan, 2008.
- Unnervik, A. (2009). "Lessons in big science management and contracting", in L.R. Evans (ed.), *The Large Hadron Collider: A Marvel of Technology*. EPFL Press: Lausanne.
- Weinberg, Alvin. M. 1961. Impact of large-scale science on the United States. *Science*, 134 (3473), 161-164.
- Welsch M. (2017). *Europe's Energy Transition. Insights for Policy Making*. Academic Press. ISBN: 9780128099032.
- Williamson, O. E. (2008), 'Outsourcing: transaction cost economics and supply chain management,' *Journal of Supply Chain Management*, 44(2), 5–16.