

Il carattere endogeno nella scienza e nella tecnologia del ventesimo secolo

Lezione Momigliano 1999

Rosenberg

Introduzione

Il fine di questo capitolo è quello di evidenziare come, nel corso del ventesimo secolo, la scienza e la tecnologia siano diventate sempre più *endogene*. Non sto solamente affermando che esse abbiano assunto un ruolo di crescente importanza nella vita economica delle economie industriali avanzate, ciò è ovvio. Sto suggerendo che questo ruolo sempre più importante è stato una diretta conseguenza dei cambiamenti istituzionali e dei cambiamenti connessi agli incentivi economici. La modalità attraverso cui l'insieme delle nuove conoscenze viene trasformato in beni e servizi di valore commerciale è diventata più direttamente collegata a processi decisionali da parte degli agenti economici, i quali massimizzano i propri obiettivi rispondendo ai segnali trasmessi dalle forze di mercato. Svilupperò la mia tesi principalmente attingendo dall'esperienza americana, ma non voglio essere considerato come colui che ritiene che l'esperienza americana sia necessariamente rappresentativa di altre economie industriali. L'esperienza americana, e la creazione di alcune delle sue principali istituzioni, come le università, ha differito in alcuni punti significativi da quelle di altre economie industriali. Si potrebbe naturalmente argomentare che il tema generale che ci aggiungiamo a trattare non sia solo un tema Shumpeteriano, ma anche Marxiano. Nel suo articolo del 1949 sul *Journal of Political Economy* per il centenario della pubblicazione de "Il manifesto Comunista", Shumpeter affermò energicamente che Marx era stato di gran lunga più profondo degli economisti classici nel richiamare l'attenzione sulle conquiste storiche della borghesia. A tale proposito egli citò il famoso panegirico di Marx e Engels, culminante con l'affermazione che la borghesia "in cento anni scarsi ha creato forze produttive più imponenti e colossali che tutte le generazioni precedenti messe insieme." Shumpeter aggiunse che economisti come A. Smith e J.S. Mill non avevano mai fatto dichiarazioni riguardo al "ruolo creativo della classe imprenditoriale". Aggiunse anche che la generazione di economisti a cui lui stesso apparteneva avrebbe "commesso l'errore di catalogare come fattori *indipendenti* la scienza e la tecnologia, mentre la sociologia di Marx lo induceva a ritenere che questi fattori, come pure alcuni avanzamenti nel settore dell'educazione e dell'igiene, non erano altro che i prodotti della

cultura della classe borghese – e, di conseguenza, della classe imprenditoriale – così come la stessa produttività del lavoro.” (Riportato al Capitolo 1; il corsivo è opera di Shumpeter.) Quindi, Shumpeter afferma di essere d'accordo con Marx sul fatto che la scienza e la tecnologia debbano essere interpretate come variabili alimentate dalle forze economiche – ovvero di essere esse stesse variabili endogene al sistema di produzione.

Ovviamente, vi sono diversi gradi di endogenità. La storia certamente ci aiuta. Nessuna generazione umana si è mai generata dal nulla. Ogni generazione necessariamente si forma da, e si costruisce su, eredità culturali e intellettuali derivanti dalle generazioni precedenti. Isaac Newton prendeva esplicitamente atto di questo affermando, riguardo ai risultati intellettuali sulla teoria della forza gravitazionale: “Se ho visto più lontano è stato perché stavo sulle spalle dei giganti.” Newton stava fermamente sulle spalle di un gigante in particolare, Johannes Kepler e la sua teoria, secondo la quale tutti i pianeti ruotano con orbita ellittica intorno al sole. In questo senso esiste sempre una generale restrizione riguardo la nozione di completa endogenità. In effetti una buona ragione per studiare la storia dell'economia, a mio avviso, è quella di comprendere meglio il ruolo di tali vincoli e delle forze che hanno portato alla loro eventuale attenuazione.

Propongo, quindi, di esaminare alcune delle specifiche forze che aiutano a spiegare il carattere sempre più endogeno della scienza e della tecnologia nel corso dell'ultimo secolo. Allo stesso tempo credo che le affermazioni di Shumpeter (specialmente nel Capitolo 11 di *Capitalism, Socialism and Democracy*, “The Civilization of Capitalism”) secondo cui scienza e tecnologia debbano essere intese, storicamente, come creature della mentalità e della cultura borghese, siano di natura troppo lusinghiera e indiscriminata. I canali di connessione in quel capitolo non sono mai sufficientemente specificati, e le sue asserzioni potrebbero benissimo essere soggette allo stesso tipo di critiche che lo stesso Shumpeter indirizzò a quegli scrittori che attribuivano la crescita storica del capitalismo ad una sorta di *zeitgeist*. Per di più, si possono avanzare dei contro-esempi che confutano questa tesi. In Unione Sovietica e in Giappone, ad esempio, l'enorme incremento del ruolo della ricerca nell'ambito

della scienza e della tecnologia, non può essere sicuramente attribuito ad un'improvvisa fioritura degli stimoli commerciali e culturali della borghesia.

D'altro lato, le modifiche nel punto di vista di Shumpeter, dalla sua opera giovanile *Theory of Economic Development* alla sua opera matura *Capitalism, Socialism and Democracy*, incorporano un riconoscimento di alcuni cambiamenti istituzionali avvenuti nel frattempo nell'evoluzione del capitalismo occidentale – approssimativamente i primi quarant'anni del ventesimo secolo. Nella sua opera giovanile *Theory of Economic Development* (1911) e anche nella sua opera più matura *Business Cycles* (1939), l'innovazione è trattata come esogena; fino all'ultimo, la velocità e la direzione dell'attività innovativa non sono esplicitamente delineate dalle forze economiche. Shumpeter non disse molto sulle determinanti dell'attività innovativa nel periodo precedente gli ultimi dieci anni della sua vita. Da quel periodo in poi, tuttavia, l'applicazione delle innovazioni al processo produttivo – l'azione innovativa – non solo viene trattata come endogena, ma come un fatto centrale nella teoria del ciclo economico.

Al tempo in cui fu pubblicato *Capitalism, Socialism and Democracy* (1942), Shumpeter era arrivato ad attribuire un ruolo fondamentale alle determinanti economiche delle decisioni di innovazione. O meglio, sosteneva che sia l'invenzione che l'innovazione stavano diventando istituzionalizzate e sempre più "automatizzate" nelle grandi società industriali, uno sviluppo che avrebbe condotto ad una sostanziale burocratizzazione della funzione imprenditoriale. Si potrebbe argomentare che esisteva una semplice ragione a giustificare il cambiamento di visione di Shumpeter: la radicale trasformazione del mondo capitalista nei primi quaranta anni del ventesimo secolo.

Perché l'economia della scienza è così difficile?

Credo che Shumpeter avrebbe sicuramente gradito la nascita di una disciplina dedicata allo studio dell'economia del cambiamento tecnologico, disciplina che si fece strada dopo la sua morte, avvenuta nel 1950.

In effetti, credo che tale disciplina dovesse molto all'influenza dello

stesso Shumpeter. Sono anche sicuro del fatto che egli sarebbe stato un avido lettore della recente letteratura teoretica sui “cambiamenti endogeni della tecnologia”, a cui probabilmente avrebbe apportato il suo contributo. Inoltre, affermerei che sia Marx che Shumpeter meritano di essere considerati come i progenitori di questa recente teoria, la quale offre un rigoroso quadro analitico per interpretare i meccanismi attraverso cui il sistema economico accumula l’insieme delle conoscenze necessaria allo sviluppo di nuove abilità tecnologiche. Allo scopo di identificare le forze che hanno sostenuto il carattere endogeno del cambiamento tecnologico, è d’altra parte possibile considerare l’analisi svolta in queste pagine come complementare alla letteratura teoretica.

Ora, sebbene Shumpeter avrebbe sicuramente apprezzato la creazione di un’economia di cambiamento tecnologico, si sarebbe anche chiesto le ragioni per le quali si era impiegato così tanto tempo a affermare un’economia della scienza (in opposizione ad una sociologia della scienza). Dopo tutto, la disciplina economica ha spesso mostrato chiare tendenze egemoniche negli ultimi decenni. Essa si è introdotta con successo in diversi campi di ricerca, anche solo di recente ha iniziato a fermentare le discipline scientifiche. Già da qualche tempo esisteva un’economia della formazione, un’economia della salute, un’economia del comportamento elettorale, un’economia del matrimonio, un’economia del divorzio e un’economia del crimine. Tanto che a indicazione dell’elevato prestigio di questo tipo di ricerca, ad uno dei suoi più eminenti studiosi, Gary Becker, è stato conferito il Nobel nel 1992.

Quali sono, allora, le ragioni del ritardo della nascita e dello sviluppo di un’economia della scienza? La domanda è particolarmente pertinente in vista di ciò che si è a lungo creduto a proposito della scienza. Il fatto che la ricerca scientifica fosse sottomessa agli interessi economici è stato, dopo tutto, un atto di fede, almeno fino all’opera di Francis Bacon, consigliere della prima Regina Elisabetta 400 anni fa.

Indubbiamente, un’interpretazione economica dell’attività scientifica è sembrata a lungo inverosimile, o almeno poco plausibile. L’immagine popolare dello scienziato è stata quella di un vecchio e forse persino eccentrico individuo, con i vestiti sgualciti e i capelli

trasandati, disinteressato ai motivi economici della sua attività di ricerca. Senza dubbio c'è qualche fondo di verità in questa rappresentazione. Esistono numerose testimonianze storiche – nell'Inghilterra Vittoriana – di scienziati indipendenti, dalle ampie possibilità finanziarie, signori che erano totalmente impegnati a risolvere quesiti apparentemente complessi, ma di nessuna importanza pratica. Darwin è probabilmente il più conosciuto esempio di ciò che sto descrivendo, sebbene le sue “scoperte” siano state criticate sia in passato che ai nostri giorni .

In tempi più recenti, questa tipologia sociologica dello scienziato è andata perduta, rimanendo tale solo in letteratura. Nel corso del ventesimo secolo gli scienziati erano divenuti, in larga maggioranza, una sorta di impiegati salariati in grandi organizzazioni gerarchiche, come le università i laboratori industriali e gli uffici governativi, anche a causa dei crescenti costi crescenti della ricerca scientifica. Ormai esiste una distinzione essenziale tra le motivazioni che sono alla base della ricerca svolta da uno scienziato che lavora nelle organizzazioni e gli interessi di coloro che prendono le decisioni in quelle stesse organizzazioni. Se è vero che gli scienziati sono principalmente indirizzati dagli obiettivi della scienza “pura”, le decisioni necessarie a dare loro lavoro o per finanziare l'attività di ricerca si basano in genere su priorità differenti. Sebbene un astrofisico o un biologo molecolare possano essere impegnati senza riserve nel progresso della scienza, le scelte riguardanti l'occupazione e la ripartizione delle risorse in una grande azienda o in un ente statale possono legittimamente dipendere da obiettivi più funzionali. Non c'è niente ambiguo o di sinistro in questo. Non sorprende affatto che i budget per la ricerca nelle varie discipline scientifiche siano determinati da obiettivi sociali e che il risultato economico rappresenti la componente più importante di questi obiettivi. Quindi, l'elemento economico può determinare in larga misura il budget dedicato alla scienza sia nell'industria che nell'ambito statale, e non c'è ragione di ritenere che ciò non sia perfettamente compatibile con un perseguimento disinteressato del sapere scientifico da parte di scienziati. Anzi, in genere si auspica – ed è socialmente funzionale – che sia così.

Allo stesso tempo, occorre trattare con cura il vecchio stereotipo

della “disinteressatezza”. Il termine non dovrebbe essere interpretato, come spesso è stato fatto, come assenza di un interesse personale da parte dello scienziato – gratificazione dell’ego o puro interesse economico che sia – nell’eventuale successo della ricerca. Gli scienziati naturalmente hanno “interessi”, e la “disinteressatezza” in questo contesto dovrebbe indicare solo che gli interessi personali non abbiano influito impropriamente sulla natura dei risultati della ricerca.

Nel sistema di riconoscimenti delle istituzioni scientifiche il ragionamento economico si è dimostrato gratificante. Il lavoro di Robert Merton e di altri sociologi ha mostrato come la decisione delle priorità nelle attività di ricerca abbia assunto un ruolo sempre più rilevante nella realizzazione delle scoperte scientifiche. Nel mondo degli scienziati, come Merton ha mostrato, il riconoscimento e la buona reputazione sono stati, per tre secoli circa, la ricompensa per la scelta delle priorità da seguire nell’attività scientifica. Più recentemente, Dasgupta e David, sviluppando elegantemente un lavoro già proposto da Merton e da altri, hanno mostrato come il prestigio delle istituzioni scientifiche possa ovviare ad alcune carenze di stimoli economici nel progresso del sapere scientifico.

Un’altra parziale risposta alla domanda sulle ragioni del ritardo nella nascita di un’economia della scienza riguarda la natura stessa del programma di ricerca dell’ economia, la quale è una disciplina che studia i principi ed i comportamenti attraverso cui si ottiene il massimo risultato con il minimo sforzo. Naturalmente è possibile costruire rigorosi modelli formali con un’ottima distribuzione delle risorse nel mondo della scienza. Ma decidere come distribuire il budget della ricerca richiede la capacità di saper fare confronti ragionevolmente credibili di costi e benefici futuri. In effetti, noi sappiamo come calcolare i costi degli acceleratori lineari, delle macchine per la radiazione di sincrotrone, dei telescopi di Hubble, i costi per mappare il genoma umano, ecc. Ad esempio, qualche tempo fa il Congresso USA ha deciso di sospendere la costruzione di un sottocollisore superconduttivo nel momento in cui i costi stimati minacciarono di raggiungere 11/12 miliardi di dollari.

Tuttavia, mentre risulta relativamente semplice calcolare i costi operativi della Grande Scienza, è straordinariamente difficile

calcolarne i benefici. D'altra parte, se si potessero calcolare, ex ante, i benefici attesi di un progetto di ricerca, c'è chi affermerebbe che quello stesso progetto, per definizione, non può essere definito scientifico, o almeno non è il risultato di una scienza pura. Nondimeno, se ci si limitasse a calcolare i benefici strettamente economici, sarebbe difficile fare qualunque genere di previsione per alcuni dei progetti della Grande Scienza. Quale pronostico si potrebbe fare riguardo ai benefici economici del Telescopio di Hubble?

Bisogna ammettere che la storia è piena di benefici inaspettati generati dalla ricerca scientifica – incluso quel tipo di ricerche dalle quali non ci si aspettava alcun beneficio al momento del loro inizio. Ma la diffusa consapevolezza che gli ipotetici benefici possono effettivamente realizzarsi costituisce sicuramente un valido criterio nella determinazione dei sussidi pubblici annuali alla scienza, o dell'assegnazione di un determinato budget tra le possibili utilizzazioni nei differenti campi della scienza. In pratica, le incertezze riguardo i benefici potenziali della ricerca scientifica pura sono pressochè infinite. Si racconta, in proposito, che Faraday abbia risposto ad un membro del parlamento che scetticamente gli aveva domandato quale fosse l'utilità della scoperta dei principi dell'induzione elettromagnetica nel 1831 con le seguenti parole: “Signore, non lo so, ma di una cosa sono abbastanza certo, che un giorno ci si pagherà una tassa.” Naturalmente Faraday aveva ragione.

La difficoltà sta nel fatto che le nuove scoperte scientifiche, perfino dopo essere state “prodotte”, devono essere considerate, almeno in termini economici, come beni intermedi. Tali scoperte non entrano nel mercato in maniera ordinaria, e il loro valore economico si dovrebbe misurare come un input potenziale per un progetto successivo, che a sua volta può generare un prodotto commerciabile. Ciò implica, comunque, un insieme di congetture altamente speculative, come ebbe modo di sostenere Arrow in un suo fondamentale articolo molti anni fa.

L'istituzionalizzazione della ricerca

La tesi che il cambiamento tecnologico abbia manifestato un

carattere sempre più endogeno nel corso del ventesimo secolo porta a sviluppare un'analisi che si focalizza necessariamente su di una specifica innovazione istituzionale: il laboratorio di ricerca industriale. Tradizionalmente questi laboratori industriali hanno determinato in quale grado le attività della comunità scientifica siano state funzionali ai bisogni della società. Una simile affermazione, di per sé, non è molto illuminante. Questo perché i laboratori di ricerca, nati in Germania nelle industrie di chimica organica della fine del diciannovesimo secolo, dipendevano effettivamente da una rete di altre istituzioni, tra cui le università, che svolgevano due funzioni essenziali:

- 1) da una parte formavano scienziati ed ingegneri che avrebbero poi trovato occupazione nei laboratori industriali, offrendo così un contributo fondamentale alla redditività della ricerca industriale;
- 2) dall'altra eseguivano vari tipi di ricerche disciplinari che si spingevano fuori dalle frontiere della conoscenza esistente. La rete di istituzioni includeva anche le amministrazioni, pubbliche e private, che fornivano sussidi finanziari alle attività di ricerca in quei settori dove il rendimento sociale degli investimenti scientifici sembrava essere più alto dei rendimenti privati.

Ad esempio le fondazioni filantropiche, come la Rockefeller e la Carnegie, hanno avuto un ruolo rilevante nel finanziamento dell'attività scientifica durante il ventesimo secolo negli Stati Uniti. Si deve, inoltre, osservare che i paesi industriali più avanzati incrementarono sostanzialmente i fondi destinati alla ricerca dopo la seconda guerra mondiale, anche se a tassi differenziati. Parallelamente, l'importanza e il rendimento delle attività svolte dai laboratori industriali si svilupparono enormemente:

- 1) nel corso degli anni,
- 2) all'interno dei confini nazionali,
- 3) all'interno dei settori industriali.

In questa prospettiva, il ruolo economico delle università è stato determinante. In quel periodo la ricerca universitaria includeva la creazione di un numero di discipline interamente nuove, specialmente discipline tecniche, che avrebbero assunto ruoli di grande significato

economico nella concettualizzazione e progettazione delle nuove tecnologie. Tra queste vi erano l'ingegneria elettrica, l'ingegneria chimica, l'ingegneria aeronautica, la metallurgia (ora "scienze dei materiali") e, più recentemente, l'informatica. Negli Stati Uniti, perlomeno, le spese della ricerca universitaria nelle discipline tecniche sono state notevoli tanto nel passato quanto nel presente. Per fare un esempio, attualmente le spese RS (Ricerca e Sviluppo) destinate a queste discipline nelle università americane superano di molto quelle destinate alle scienze fisiche. Le scienze naturali, in particolare, hanno beneficiato di questa tendenza, fino al punto che nel 1995 erano le destinatarie di oltre la metà dei sussidi universitari RS. Indubbiamente, il grado con cui le scienze naturali ora influenzano la ricerca universitaria riflette l'impegno del governo federale nei confronti della ricerca-legata-alla-salute. La metà del budget relativo alla ricerca nelle scienze naturali stanziato dalle istituzioni universitarie pubbliche è stato infatti destinato alle scienze mediche. Va sottolineato che nell'ambito della ricerca industriale è opportuno sottolineare che le attività dei laboratori di ricerca non siano giudicate secondo criteri accademici. Il laboratorio di ricerca industriale è essenzialmente un'innovazione istituzionale nel quale i piani di ricerca seguono largamente i mutabili bisogni delle tecnologie industriali. Il ruolo degli scienziati e degli ingegneri industriali è quello di incrementare il rendimento e l'affidabilità di tali tecnologie utilizzate e di ridurre i costi di applicazione, così da poter sviluppare nuove tecnologie. Nel tempo, le attività svolte dai laboratori di ricerca industriale hanno quindi avuto l'effetto di sottomettere la scienza a criteri commerciali, rendendo la natura dell'attività scientifica sempre più endogena alle direttive e agli obiettivi delle forze economiche. In altre parole, nel corso del ventesimo secolo la scienza è stata gradualmente "incorporata" nei meccanismi di crescita delle società industriali.

Il sistema di crescita incentrato sul cambiamento tecnologico è ormai integrato da una diffusa rete di ricerca scientifica caratterizzata da forti componenti pubbliche e private. Ne sono esempi:

- 1) gli alti sussidi pubblici alla scienza, come le società tedesche Max Planck e Fraunhofer, il Consiglio Nazionale di Ricerca italiano (CNR), il CNRS francese, l'INSERM, e l'istituto

Pasteur, o più di 700 laboratori federali americani, che erogano fondi pubblici per il raggiungimento di un ampio spettro di obiettivi nazionali;

- 2) le istituzioni formative superiori che forniscono una grande quantità di ricerca scientifica (sebbene con grandi differenze tra i paesi), in aggiunta alle loro più vecchie e ben determinate funzioni formative;
- 3) il sostanziale impegno di ricerca nell'industria privata, dove le risorse scientifiche sono dirette in particolar modo al rafforzamento e all'allargamento delle capacità tecnologiche di un'azienda; e
- 4) la miriade di associazioni professionali e di lavoratori, che forniscono innumerevoli opportunità per lo scambio di informazioni utili.

Il grande successo del cambiamento tecnologico nel passato è stato quello di favorire gli incentivi a destinare risorse all'incremento delle tecnologie già esistenti, ad esempio attraverso i fondi R&S. In effetti, la grande parte delle spese RS è indirizzata verso quei prodotti che rappresentano il risultato di attività economiche passate. Questa osservazione è confermata dalle indagini annuali condotte da McGraw-Hill. Queste indagini riportano informazioni relative alla quota di budget RS destinata dalle imprese al (1) miglioramento dei prodotti già esistenti, rispetto a quelle destinate (2) l'invenzione di nuovi prodotti. Le stime riportate rivelano che circa l'80% delle spese RS sono in genere destinate al miglioramento dei vecchi prodotti mentre solo il 20% all'invenzione di nuovi. Da una differente angolazione, si può affermare che, per molti anni, l'RS totale per l'economia americana è stato suddiviso in 1/3 R e 2/3 S. E, è giusto dire, il componente S dell'RS è principalmente focalizzato sul miglioramento di prodotti pre-esistenti piuttosto che sulla progettazione di prodotti totalmente nuovi.

Di conseguenza, è inappropriato identificare le spese RS con risorse finanziarie destinate alla realizzazione di grandi innovazioni, tipo di quelle di cui parlava Shumpeter. Piuttosto, il loro obiettivo principale è quello di migliorare le performance, o ridurre i costi, delle vecchie tecnologie. Ciò non sorprende. Il transistor, così importante per il cambiamento tecnologico nell'elettronica del

dopoguerra, ora ha più di cinquanta anni, essendo stato inventato nel dicembre del 1947. L'automobile è arrivata da circa un secolo, e l'aereo tra pochi anni festeggerà il suo centenario. Ebbene, i mezzi di trasporto rappresentano il maggiore settore dell'economia americana in base ai finanziamenti RS delle società, e questi due "antichi" mezzi di trasporto assorbono la grande maggioranza di quelle spese. L'introduzione dell'elettricità a scopi commerciali è generalmente datata a partire dal 1882, quando la stazione di Pearl Street, nel punto più a sud dell'isola di Manhattan, iniziò ad "illuminare" i suoi clienti. Questo evento predispose la strada per la realizzazione di miglioramenti incrementali nell'utilizzo del boiler, nell'introduzione di metalli di più alta performance, nella polverizzazione del carbone. Sebbene solo degli specialisti sarebbero in grado di identificare tutte le innovazioni avvenute in questo settore, la quantità di carbone richiesto per generare un kilowattora di elettricità è scesa di almeno un ordine di grandezza tra i primi anni del 1900 e il 1960. Gli effetti cumulativi delle piccole innovazioni individuali a partire dall'introduzione dell'energia elettrica, sviluppate nel lungo periodo attraverso quella che ora viene chiamata una tecnologia di impiego generale (TIG), hanno trasformato l'economia mondiale.

Il telefono esiste da oltre cento anni, ma le sue performance sono state recentemente accresciute dalla diffusione della posta elettronica (e-mail), dalla posta vocale, dei telefoni cellulari, delle conferenze telefoniche. Si potrebbe obiettare che alcuni di queste "innovazioni" dovrebbero essere considerate come vere e proprie invenzioni di nuovi prodotti, piuttosto che un semplice miglioramento di quelli già esistenti. Ciò in parte è vero, ma è necessario sottolineare che il prodotto "originario", il comune telefono, è la base di partenza sulla quale sono stati costruiti i prodotti più recenti. Cioè, quello a cui assistiamo è un processo in cui i precedenti investimenti di successo nell'ambito delle attività inventive, hanno portato a delle spinte economiche che hanno generato molti anni di ulteriore investimento nell'innovazione dei prodotti. Questi successivi investimenti, che ora assorbono la parte più consistente dei budget RS delle economie capitaliste avanzate, sono perciò endogeni nella loro natura.

Come le discipline tecniche hanno modellato la scienza

Nell'esame dei processi RS, fino ad ora non ho fatto particolari distinzioni tra la componente di ricerca scientifica ("R") e la componente di sviluppo ("S"), più specificamente tecnologica. Nelle società moderne, d'altra parte, la scienza e la tecnologia sono strettamente legate. Tale legame costituisce in sé un interessante argomento di discussione, che tuttavia non può essere affrontato in maniera sistematica in questa sede. Tuttavia è opportuno introdurre alcune puntualizzazioni.

Innanzitutto lo sviluppo delle discipline tecniche ha stimolato in modo significativo l'interesse del mondo industriale verso la ricerca scientifica. Ne è una conferma il fatto che le imprese industriali hanno svolto storicamente un ruolo di crescente importanza nel campo della ricerca scientifica applicata all'economia, la R del binomio RS, appunto. Anche quando si è trattato di ricerca di base. In proposito, la National Science Foundation (NSF) riporta che più del 25% della ricerca di base negli Stati Uniti è stata finanziata negli ultimi anni dalle società industriali. È ragionevole ipotizzare che il finanziamento privato della ricerca di base non sarebbe stata erogato in assenza di una prospettiva di rendimento economico, anche se il rendimento di cui si parla non deve essere necessariamente interpretato in termini di una soluzione a un problema interno all'azienda. Piuttosto, può costituire una "scommessa" necessaria per monitorare le attività di ricerca svolte al di fuori dell'azienda, in particolare nelle università, nei laboratori federali e nelle industrie concorrenti. Un effettivo monitoraggio, in altre parole, può richiedere una considerevole competenza interna per comprendere e valutare i risultati conseguiti dalle attività di ricerca esterne all'impresa.

Quale ruolo svolgono allora le discipline tecniche nel determinare le priorità nelle attività scientifiche svolte delle singole aziende? Lo sviluppo delle discipline tecniche, prima di tutto, permettono di incrementare il rendimento delle ricerca più puramente scientifica poiché offrono la possibilità di trasformare le risultati della ricerca scientifica in prodotti commerciabili. L'esistenza di tali discipline, poi, rafforzano il carattere endogeno della scienza nelle economie capitaliste avanzate. La ricerca scientifica non può essere intrapresa

con obiettivi specifici, quanto piuttosto con la fiducia che, qualunque siano le scoperte della ricerca specifica, una ben sviluppata abilità tecnica incrementerà la probabilità di servirsi di queste scoperte per introdurre sul mercato prodotti nuovi o rinnovati. Da questo punto di vista, l'economista potrebbe argomentare che la scienza della chimica può essere considerata come un'applicazione dell'ingegneria chimica!

Si prenda come esempio l'esperienza del settore della chimica dei polimeri. La chimica dei polimeri negli Stati Uniti è stata per molti anni indirizzata dalle esigenze della ricerca industriale. I principali contributi delle ricerche di Wallace Carothers alla du Pont Corporation, iniziate nel 1928, dovevano molto al crescente rendimento dell'ingegneria chimica. La più rilevante delle scoperte scientifiche di Carothers fu quella del nylon, la prima delle fibre sintetiche. Da quel momento, tuttavia, ci volle un grande sforzo da parte degli ingegneri chimici, durato ben undici anni, perché fosse disponibile il primo paio di calze di nylon. Non sappiamo se du Pont si sarebbe dedicato alle ricerche nel settore della chimica dei polimeri senza il progresso dell'ingegneria chimica nel decennio precedente. Sembra evidente, comunque, che in generale l'evoluzione delle discipline tecniche abbiano rafforzato nel corso del tempo la fiducia delle aziende di poter trasformare i risultati delle spese nella ricerca scientifica in prodotti commerciabili.

Come le scoperte tecnologiche modellano la scienza

L'argomentazione conclusiva che si vuole discutere in merito al caratteristiche endogene della ricerca scientifica va oltre il ruolo svolto dalle discipline tecniche nel potenziare gli incentivi rivolti alla ricerca scientifica. La tesi che si discute riguarda la possibilità che lo sviluppo di una nuova tecnologia avente notevoli implicazioni commerciali possa fornire, come spesso è accaduto, uno stimolo potente alla ricerca scientifica sistematica. Tale tesi può sorprendere solo se si è già legati a una visione lineare del processo di innovazione, in cui il rapporto di causa-effetto parta dalla ricerca scientifica di base per poi "scendere a valle", verso la progettazione del prodotto e lo sviluppo tecnico. Esiste, invece, una spiegazione di carattere endogeno in grado di spiegare queste relazioni. Una grande scoperta

tecnologica di solito fornisce una nuova serie di opportunità vantaggiose per la ricerca futura in quello stesso ambito di attività. Si comprende così come la ricerca scientifica possa generare ulteriori progressi in quella tecnologia da cui ha avuto un iniziale impulso. Questo processo di dipendenza, in cui la ricerca scientifica si sviluppa da scoperte tecnologiche preesistenti, non è, naturalmente, un fenomeno specifico del ventesimo secolo, ma può essere riscontrato nei notevoli progressi dell'industria siderurgica a partire dagli anni 50 del diciannovesimo secolo. Nel caso di tre grandi innovazioni della seconda metà dell'ottocento che hanno reso possibile lo sfruttamento di minerali fosforosi – il convertitore Bessemer, il forno Martin-Siemens, il rivestimento base Gilchrist-Thomas, – non si disponeva di alcune conoscenze chimiche di base da almeno di mezzo secolo. L'adozione di tali innovazioni, comunque, ha fatto drasticamente aumentare i risultati derivanti dall'acquisizione di una nuova conoscenza scientifica, relativa alle proprietà dell'acciaio. Il grande risultato del processo Bessemer nel far diminuire il prezzo dell'acciaio, e nell'impiegarlo in una serie di nuovi usi in rapida espansione, rese necessario sottoporre gli input del processo ad un'analisi chimica quantitativa. Ciò fu favorito dal fatto che la qualità dell'acciaio e la sua integrità strutturale, era molto sensibile a variazioni anche minime nella composizione degli input. Si scoprì così che il fosforo aveva un effetto dannoso sulla qualità del prodotto finito. L'aggiunta di quantità minime di azoto dell'aria durante l'applicazione di un getto di aria causava un deterioramento grave e inatteso nelle prestazioni del metallo, come nel caso delle rotaie, sebbene questa relazione causale non sia stata scoperta che molti anni più tardi. In verità, l'oggetto attuale della scienza dei materiali ha avuto origine dalla necessità di risolvere questioni di carattere pratico, in relazione al comportamento dei metalli associati all'emergere della moderna industria siderurgica, nella seconda metà del diciottesimo secolo. Ma qui vengono coinvolte questioni ben più complesse per quanto riguarda la definizione di endogenità. La ricerca scientifica stimolata dal fallimento del processo "acido" originale di Bessemer, portò infine all'identificazione del "colpevole": si scoprì che anche piccole quantità di fosforo nel minerale di ferro rendevano inutilizzabile la ghisa prodotta con quel minerale. Al

contrario, il processo “base” Gilchrist-Thomas, annunciato nel 1879, neutralizzò gli effetti dannosi del fosforo, e fu applicato al processo Bessemer e al successivo processo Martin. Il processo di base determinò anche un cambiamento tecnologico di enorme significato geopolitico ed economico, perché rese possibile l’impiego degli immensi depositi di minerali di ferro con alto contenuto di fosforo dell’Europa continentale (minerali minette).

Tornando all’argomento centrale del presente capitolo, il punto che va chiarito è che l’endogenità non riguarda solo che il cambiamento tecnologico, ma anche gli stessi fattori di produzione, come le materie prime impiegate. La ricerca che ha condotto al successivo processo base ha reso possibile un’espansione enorme delle risorse a disposizione dell’industria siderurgica. In tal modo, un’intuizione chimica molto semplice, ossia l’eliminazione del fosforo dal ferro fuso attraverso l’aggiunta di ossido di calcio, ha generato un grande ampliamento delle risorse disponibili per un settore industriale fondamentale.

La questione è di carattere generale e non è affatto limitata alla metallurgia del diciannovesimo secolo. L’uso del forno elettrico ad arco nella seconda metà del ventesimo secolo ha trasformato i metalli scartati – rottami, o più colloquialmente, scarti – in un materiale input di gran valore per l’industria siderurgica. La fornace elettrica è in grado di funzionare con un carico costituito esclusivamente da rottami e, di fatto, tutta la capacità di produzione di acciaio dell’industria siderurgica americana dal 1970 è costituita da mini laminatoi, termine con cui vengono attualmente designati questo genere di forni elettrici. Il forno elettrico ad arco viene anche impiegato per riciclare l’alluminio, un processo che richiede solo il 5% dell’energia necessaria per la normale produzione di alluminio se si parte dai minerali di bauxite.

All’inizio del ventesimo secolo l’industria americana della pasta di legno utilizzava come input produttivo solo gli abeti della regione settentrionale del paese. I progressi tecnologici degli anni 20 nel processo al solfato hanno reso possibile lo sfruttamento del pino meridionale a crescita più rapida, che era fino a quel momento inutilizzabile. In seguito all’impiego di questa nuova tecnologia l’America meridionale rappresentava più della metà della capacità

del paese per la produzione di pasta di legno, a partire dalla metà degli anni cinquanta, una ridefinizione fondamentale della base di risorse dell'economia. In proposito Paul David e Gavin Wright hanno fornito, di recente, una documentazione persuasiva a favore della tesi, secondo cui la posizione americana come primo produttore mondiale di minerali non sia un dovuto a circostanze esogene, o naturali:

I minerali con un valore economico si trovano in maniera non uniforme sulla superficie terrestre, ma tra il 1850 e il 1950, gli Stati Uniti hanno sfruttato il proprio potenziale di risorse in maniera molto più massiccia di altri paesi del mondo. L'abbondanza di risorse naturali in America non deriva esclusivamente da una dote geologica...ma riflette l'intensità della ricerca, le tecnologie di estrazione, affinazione e utilizzo; lo sviluppo del mercato e i costi di trasporto, e le strutture legali, istituzionali e politiche che interessano tutto ciò.

In altre parole, gli input di produttivi che entrano negli altiforni, nei mini laminatoi, nelle cartiere e in un'ampia gamma di processi di produzione, devono tutti essere considerati come endogeni.

In questa prospettiva è opportuno sottolineare il ruolo del settore pubblico. Si è già accennato, in particolare, al fatto che la II guerra mondiale ha rappresentato un punto di svolta per l'organizzazione dell'economia americana e per il ruolo svolto dal governo federale nelle attività economiche. Dopo la guerra il governo federale è diventato il mecenate della ricerca scientifica su una scala senza precedenti, sia negli Stati Uniti che in qualsiasi altro paese.

E' importante ricordare quanto sia recente dal punto di vista storico la leadership USA nella ricerca scientifica. Tale leadership è divenuta evidente solo negli anni successivi al 1945. Furono istituite nuove organizzazioni, come la National Science Foundation, ed alcune di quelle esistenti, come il National Institutes of Health, conobbero una vasta espansione. Le esigenze della guerra fredda determinarono un aumento massiccio della richiesta militare di tecnologie altamente sofisticate. Grandi quantità di denaro a sostegno della scienza e della tecnica si riversarono nelle università

e la carta delle libertà GI, che finanziava l'istruzione superiore per i veterani che tornavano a casa, fece confluire un gran numero di professionisti altamente qualificati nell'economia del dopoguerra. Negli anni che seguirono la seconda guerra mondiale, il collegamento di alcuni settori industriali con la ricerca organizzata è diventato così frequente che in neologismo "high tech" è stato coniato come abbreviazione in riferimento ad esse. I laboratori di ricerca industriale sperimentarono una notevole espansione negli anni del dopoguerra, e nel 1992 negli Stati Uniti ne esistevano quasi 12000. La ricerca, presso questi laboratori era profondamente modellata dalla necessità di migliorare l'efficacia della tecnologia alla base dell'azienda – certamente, questa era la loro *raison d'être*. Un certo numero di questi laboratori non solo hanno applicato la conoscenza scientifica per fini industriali; hanno anche prodotto una parte di quella conoscenza tramite lo svolgimento di una ricerca di altissima qualità. Alcuni premi Nobel sono stati assegnati a scienziati che lavoravano presso i laboratori Bell e l'IBM, anche se operavano in un contesto in cui l'agenda generale di ricerca era orientata al miglioramento di sistemi tecnologici avanzati specifici. I problemi incontrati da sofisticate tecnologie industriali, e le osservazioni anomale e le difficoltà impreviste che hanno affrontato, sono serviti da stimolo potente per molta fruttuosa ricerca all'interno della comunità accademica e del laboratorio di ricerca industriale. In questo modo la risposta della ricerca scientifica alle necessità economiche e alle opportunità tecnologiche è stata molto rafforzata. L'avvento del transistor, nel 1948, fornisce una dimostrazione inequivocabile di questa dinamica. Nella decade successiva il suo avvento, la fisica dei solidi, che fino ad allora aveva attratto l'attenzione solo di un piccolo numero di ricercatori tanto da non venire insegnata nella maggior parte delle università, fu trasformata nella maggiore sotto-disciplina della fisica. Fu proprio lo sviluppo del transistor che modificò la situazione migliorando drasticamente i successi della ricerca nello stato solido. J.A. Morton, responsabile del gruppo di ricerca costituito presso i Laboratori Bell in seguito all'invenzione del transistor, lamentava l'estrema difficoltà nel reclutare persone competenti nel campo della fisica dei solidi nei tardi anni 40. Nel periodo seguente l'annuncio delle scoperte di

Shockley e dei suoi colleghi ricercatori presso i Laboratori Bell la mobilitazione delle risorse intellettuali destinate alla ricerca nello stato solido, si realizzò sia nella comunità universitaria che nell'industria privata.

La cronologia degli eventi riportati è essenziale per la tesi che si sostiene in queste pagine. La tecnologia del transistor non fu l'esito finale di una massiccia concentrazione di risorse destinate alla realizzazione di questo strumento innovativo. Piuttosto, fu la scoperta iniziale del transistor, come parte funzionante di una macchina, che mise in moto una successiva, ampia mobilitazione di risorse. Le difficoltà incontrate da Shockley con il funzionamento dei primi transistor a punta di contatto, lo indussero a svolgere una ricerca sistematica per trovare una spiegazione soddisfacente del loro comportamento nell'ambito della fisica quantistica dei semiconduttori, che ne costituiva la base. Sicuramente il famoso e autorevole libro di Shockley, *Electrons and Holes in Semiconductors*, attinse in maniera considerevole da quella ricerca e fu il risultato diretto di un corso interno all'azienda che Shockley aveva tenuto per il personale dei Laboratori Bell. Shockley tenne anche un corso di sei giorni presso i Laboratori Bell, nel giugno 1952, per i professori di circa trenta università, come parte di un tentativo di incoraggiare l'istituzione di corsi universitari sulla fisica dei transistor. E' evidente, quindi, come il flusso principale della conoscenza scientifica, in questo periodo, andava dall'industria all'università, e non viceversa. Di fatto, per un periodo di tempo considerevole, la Stanford University e la University of California a Berkeley dovettero assumere scienziati dell'industria locale per tenere corsi sulla fisica dei solidi.

Una sequenza simile di eventi si può riscontrare anche nel settore della chimica delle superfici mentre, più di recente, lo sviluppo della tecnologia laser suggerì l'attuabilità dell'impiego di fibre ottiche per le trasmissioni telefoniche. Questa possibilità naturalmente creava delle opportunità economiche al settore dell'ottica. Ed in effetti l'ottica, come settore della ricerca scientifica, conobbe una grande sviluppo a partire dagli anni 60.

Da queste riflessioni deriva una conclusione principale, ovvero che è la tecnologia a modellare la scienza secondo le condizioni e le

opportunità offerte dall'industria moderna: è la tecnologia, infatti, che gioca un ruolo fondamentale nel definire l'agenda della ricerca scientifica e quindi nel determinare il volume delle risorse finanziarie da destinare a specifiche attività di ricerca piuttosto che altre. Si potrebbero esaminare tali relazioni in maniera molto più dettagliata mostrando come, in tutti i settori high tech dell'economia, gli spostamenti dei bisogni tecnologici dell'industria hanno determinato conseguenti spostamenti di enfasi nella ricerca scientifica. Quando, ad esempio, l'industria dei semiconduttori passò dalla dipendenza dai circuiti discreti (transistor) ai circuiti integrati, vi fu anche un passaggio dai metodi di fabbricazione meccanici a quelli chimici. Quando alla Fairchild Semiconductors iniziarono a fabbricare i circuiti integrati, lo fecero impiegando nuovi metodi di incisione chimica che stampava i transistor nei wafer di silicone e posava anche le tracce fra l'uno e l'altro. Questa tecnica chimica eliminò molto costoso cablaggio e produsse inoltre i circuiti integrati che funzionavano ad una velocità molto più elevata. Nello stesso tempo, l'accresciuta fiducia verso i metodi chimici portò con sé una maggiore attenzione ai relativi settori secondari della chimica.

Richiamo l'esperienza del cambiamento dei metodi nella fabbricazione dei wafer per indicare un ulteriore esempio di come le esigenze industriali abbiano costituito le fondamenta per definire nuove priorità nel mondo della ricerca scientifica. E' importante sottolineare, comunque, che queste nuove priorità hanno esercitato la propria influenza, non solo sul mondo della ricerca industriale, ma anche sull'andamento della ricerca all'interno della comunità universitaria. Voglio solo evidenziare che la Stanford University ha il proprio centro per i sistemi integrati. Questo centro, secondo il bollettino universitario "è un laboratorio che collega la ricerca governativa e la ricerca orientata dall'industria sui materiali, i dispositivi e i sistemi microelettronici....Inoltre, il CIS (centro per i sistemi integrati) fornisce fondi per avviare la ricerca e mantiene un programma "Fellow-Mentor" con l'industria." Naturalmente la mia analisi sul carattere endogeno della scienza non è stata altro che lo schizzo che poteva consentire un singolo capitolo, e lo stesso è vero per il precedente cenno sul carattere endogeno della tecnologia. Inoltre, diverse categorie di analisi sull'influenza della

tecnologia sulla scienza sono state qui completamente ignorate, come l'impatto massiccio della strumentazione, cioè le tecnologie dell'osservazione e della misurazione. Tutti questi argomenti meritano un'attenzione molto maggiore da parte degli economisti e degli storici dell'economia che sono interessati al carattere endogeno, non solo come esercizio di elaborazione teoretica, ma anche come fenomeno empirico di grande importanza durante il ventesimo secolo.

