

Appendice 5 – Innovazione tecnologica e sviluppo economico

Il telaio è stato il simbolo della Prima Rivoluzione Industriale, la locomotiva dello sviluppo economico del XIX secolo, l'automobile e l'aereo del XX secolo. « Le innovazioni epocali che caratterizzano l'epoca moderna consistono nell'applicazione estensiva della scienza ai problemi della produzione economica [...] Dalla metà del XIX secolo, la principale fonte della crescita economica nei paesi industrializzati è stata la tecnologia basata sulla scienza – nei campi, tra l'altro, dell'elettricità, della combustione interna, dell'elettronica, del nucleare e della biologia » (Kuznets 1966a, pp. 9-10).

Il nesso tra scienza, tecnologia e sviluppo non è mai stato così chiaro come nel corso del XX secolo. Per tecnologia si intende « l'impiego della conoscenza scientifica al fine di sviluppare modi di fare cose in maniera riproducibile » (Harvey Brooks, cit. in Bell 1976, p. 26). L'applicazione più spettacolare della scienza alla tecnologia si è avuta nel campo dell'esplorazione spaziale, con ricadute rilevanti anche nel comparto delle tecnologie civili. Su scala microscopica, la scoperta del *Dna* e l'ingegneria genetica consentono di intervenire e di modificare il codice genetico di piante ed esseri viventi, con un impatto potenzialmente enorme sulla produzione agricola e la cura di malattie su un orizzonte di medio-lungo termine.

L'innovazione tecnologica, la forza trainante dello sviluppo economico, nel corso del Novecento non solo ha conservato immutata la sua dinamica, ma ha addirittura accelerato il ritmo del cambiamento: in particolare, la seconda metà del XX secolo è stata connotata da un tasso di crescita economica senza precedenti nella storia dell'umanità (DeLong 2000). La quinta onda *K*, avviatasi nell'ultimo ventennio (Fig. 5.5), è basata sulle tecnologie informatiche. La portata di queste innovazioni è tale da fare spesso evocare l'idea di una *Terza Rivoluzione Industriale* in corso, capace di ridefinire la struttura stessa del capitalismo. L'appendice esplora la complessa relazione tra innovazione tecnologica e processi economici.

L'innovazione tecnologica nel pensiero economico

Il libro di Nathan Rosenberg (2001), *Dentro la scatola nera*, rappresenta uno dei tentativi più riusciti di penetrare i misteriosi meccanismi che interconnettono i processi di sviluppo economico all'innovazione tecnologica. Questa è rimasta a lungo una tematica sostanzialmente inesplorata dalla teoria economica. Facciamo una ulteriore, quanto breve, incursione nella storia del pensiero economico.

Carl Menger (2007) ha riaffermato la centralità della conoscenza e dell'innovazione quale vettore primario di sviluppo economico, in linea con una tradizione che ha in Karl Marx il precursore e che, dopo Menger, perderà sostanzialmente di vigore per molto tempo. L'attenzione ai temi dell'equilibrio economico ha di fatto implicato un allontanamento dalla questione dell'innovazione. Prima di tale distacco, il problema è stato però ampiamente dibattuto: da Marx a Schumpeter, i teorici del capitalismo (e i suoi critici) identificavano proprio nel dinamismo tecnologico la vera forza trainante dello sviluppo.

Nella prospettiva marxiana gli individui, nella sfera della produzione, entrano in una struttura di

rapporti e di relazioni determinata dalla tecnologia produttiva del momento. I modi di produzione, dunque, mutano in funzione della tecnologia esistente, generando ulteriori avanzamenti nella conoscenza che forniranno il necessario substrato all'emergere di nuovi *modi* di produzione. Questi, a loro volta, daranno origine a nuovi *rapporti* di produzione. La ricerca di profitto borghese spinge all'introduzione di innovazioni che riconfigurano incessantemente rapporti e forze di produzione. Le conseguenze di questi mutamenti non restano però confinati alla sola vita economica, ma pervadono anche la sfera sociale, politica, culturale. Tali dimensioni sovrastrutturali costituiscono difatti elementi dipendenti dai rapporti e dalle forze di produzione (si veda il Par. 2.3).

Nell'elaborata costruzione marxiana, l'introduzione di nuove tecnologie aziona dunque complessi mutamenti che investono sia la dimensione propriamente economica che quella sociale. Così Marx inserisce il tema dell'innovazione nel suo affresco sullo sviluppo del capitalismo: « La scoperta dell'America, la circumnavigazione dell'Africa offrirono un nuovo terreno alla nascente borghesia. Il mercato delle Indie orientali e della Cina, la colonizzazione dell'America, gli scambi con le colonie, l'incremento dei mezzi di scambio e delle merci in genere, dettero al commercio, alla navigazione, all'industria un impulso senza precedenti, e di conseguenza permisero un rapido sviluppo dell'elemento rivoluzionario all'interno della morente società. Il modo di conduzione dell'industria, fino allora feudale o corporativo, divenne insufficiente per il fabbisogno che aumentava con l'estendersi dei nuovi mercati. Al suo posto subentrò la manifattura. I maestri artigiani vennero rimpiazzati dal ceto medio industriale; la divisione del lavoro tra le varie corporazioni sparì dinanzi alla divisione del lavoro nella singola officina stessa. I mercati però s'andavano sempre più estendendosi, come costantemente cresceva il fabbisogno. Anche la manifattura divenne insufficiente. Allora il vapore e le macchine rivoluzionarono la produzione industriale. Al posto della manifatturiera nacque la grande industria moderna; al ceto medio industriale comparvero gli industriali milionari, i capi di interi eserciti industriali, i borghesi moderni. La grande industria ha generato quel mercato mondiale che era stato preparato dalla scoperta dell'America. Esso ha dato un immenso sviluppo al commercio, alla navigazione, alla comunicazione per terra. Questo sviluppo dal canto suo ha influito sull'espansione industriale, e, nella stessa misura in cui s'accrescevano industria, commercio, navigazione, ferrovie s'è sviluppata la borghesia, che ha visto aumentare i propri capitali e ha ricacciato in secondo piano tutte le classi d'origine feudale » (Engels e Marx 2011, p. 325).

Secondo Marx, l'incessante movimento scandito dall'introduzione continua di nuove tecnologie rappresenta una netta cesura rispetto a modi di produzione pre-capitalistici, ben più statici. L'enfasi sullo stretto connubio tra capitalismo moderno e innovazione tecnologica è presente anche nella costruzione teorica di Max Weber.

La scienza, per Weber, ha conferito un apporto determinante allo sviluppo del *capitalismo occidentale moderno*. Con l'emergere di questa particolare configurazione del capitalismo, tra sfera della conoscenza techno-scientifica e sfera produttiva si instaura un rapporto simbiotico, di interdipendenza, che contribuisce a sostenere la crescita reciproca. È proprio in tale peculiare relazione che Weber rintraccia la caratteristica distintiva del capitalismo occidentale moderno; caratteristica che consente a tale specifico idealtipo di capitalismo di funzionare in modo completamente diverso rispetto alle altre configurazioni capitalistiche già emerse nel corso della storia umana. Nelle società antiche, l'economia capitalistica non si coniugava in alcun modo con la scienza. Tale rapporto osmotico emerge unicamente nel mondo occidentale moderno.

Nel suo studio sull'etica protestante e lo spirito del capitalismo (si veda il Par. 4.1.1) Weber così descrive la sinergia tra scienza e capitalismo: « Il capitalismo occidentale specificamente moderno

evidentemente è in forte misura anche dallo sviluppo delle possibilità *tecniche*. Oggi la sua razionalità è condizionata in modo essenziale dalla *calcolabilità* dei fattori tecnicamente decisivi, che sono i supporti di un calcolo esatto; ma, invero, ciò equivale a dire che è condizionata specificamente dalla natura peculiare della scienza occidentale, in particolare dalle scienze della natura matematicamente e sperimentalmente esatte e razionalmente fondate. Ora, lo sviluppo di queste scienze e della tecnica basata su di esse a sua volta ricevette e riceve impulsi decisivi dalle prospettive capitalistiche, che si connettono alla loro applicabilità economica in qualità di premi. Non che la nascita della scienza occidentale sia stata determinata da tali prospettive e risorse, questo no [...] Neanche la nascita della matematica e della meccanica fu condizionata da interessi capitalistici. Ma certamente l'applicazione tecnica di conoscenze scientifiche – questo fenomeno decisivo per l'ordinamento della vita delle nostre masse – fu condizionato da premi economici che, in Occidente, furono decisamente legati a tale applicazione. Ma questi premi emanavano dalla natura peculiare dell'ordine sociale dell'Occidente » (Weber 2006, pp. 44-45).

L'applicazione delle conoscenze tecno-scientifiche ha contribuito ad abbattere costantemente i costi di produzione. Il capitalismo, dal canto suo, ha stimolato l'innovazione tecnologica e la continua introduzione di nuovi prodotti, scandita dalla ricerca di profitto dell'imprenditore. Quest'ultimo è l'innovatore per eccellenza: un soggetto capace di cogliere il potenziare commerciale incorporato in un'invenzione e di ottenere un guadagno dall'introduzione sul mercato della stessa. Come tale, l'imprenditore non è un semplice uomo d'affari che organizza la produzione in modo da massimizzare il profitto attraverso l'efficienza statica, utilizzando cioè in modo ottimale i fattori produttivi, *data* la tecnologica. Egli, come efficacemente sottolineato da Joseph Schumpeter (si veda il Par. 5.2.1), è piuttosto dotato di una particolare propensione al rischio, che gli consente di fronteggiare le incertezze associate all'introduzione di prodotti e/o processi innovativi. Afferma in tal senso Schumpeter: « Le innovazioni nel sistema economico non avvengono di regola in maniera tale che prima sorgono spontaneamente nei consumatori nuovi bisogni e poi, sotto la loro pressione, l'apparato produttivo riceve un nuovo orientamento. Noi non neghiamo il verificarsi di questo nesso, però è il produttore che di regola inizia il cambiamento economico e i consumatori, se necessario, sono da lui educati » (Schumpeter 2002, p. 67).

L'assunzione del rischio da parte dell'imprenditore è essenziale rendere una semplice *invenzione* una reale *innovazione*. La distinzione tra invenzione e innovazione rappresenta un altro originale apporto di Schumpeter. L'imprenditore è l'attore fondamentale del processo di conversione dell'invenzione in innovazione. In realtà, solo pochi uomini d'affari presentano quella propensione al rischio e quella lungimiranza propria dei veri innovatori. Gli imprenditori-innovatori costituiscono la fonte primaria della crescita del sistema economico: grazie alle loro peculiari attitudini, introducono innovazioni tecnologiche dalle quali ricaveranno consistenti profitti.

Gli investimenti in innovazione, oltre a fare avanzare la frontiera della conoscenza, inducono estesi processi di distruzione creatrice. Da un lato, l'innovazione distrugge il valore economico di beni resi ormai obsoleti dalle nuove conoscenze. Dall'altro, crea nuovi beni dotati, a loro volta, di un elevato valore economico. Il processo di distruzione creatrice costituisce una dinamica incessantemente in azione all'interno della complessa macchina capitalista. Le innovazioni di oggi saranno superate e più o meno velocemente distrutte dalle forze endogene al mercato che, senza soluzione di continuità, rimodellano la struttura economica servendosi della scienza e della tecnologia. Secondo un recente studio (Bartelsman *et al.* 2003) il processo di *distruzione creatrice* spiega oltre il 30% dei guadagni di produttività nei paesi industrializzati, mentre la quota residua si realizza nelle aziende esistenti. In queste ultime i guadagni sono principalmente realizzati attraverso

investimenti che *sostituiscono* il lavoro con capitale, mentre nelle nuove aziende sono ottenuti attraverso un aumento della produttività *totale* dei fattori. Lo studio ha inoltre osservato un'interessante differenza tra Stati Uniti ed Europa in ordine all'evoluzione delle nuove aziende: oltre oceano quelle che sopravvivono alla selezione di mercato vedono più che raddoppiare il numero di dipendenti nel giro di appena due anni. In Europa, diversamente, solo il 20% delle nuove aziende riesce ad espandersi. L'economia statunitense sembra dunque incorporare un eco-sistema più favorevole alla crescita delle aziende rispetto a quello europeo (Bartelsman *et al.* 2003).

Simons Kuznets (1990, p. 89) definisce lo sviluppo economico « come l'aumento nel lungo periodo della capacità di fornire beni economici sempre più diversificati alla popolazione; tale crescente capacità si fonda sullo sviluppo tecnologico e sugli aggiustamenti, sia istituzionali che ideologici, che esso rende necessari ». In un altro passaggio Kuznets afferma: « La società è stimolata dalla percezione dei benefici passati, e dallo sforzo fatto per allocare più risorse per consentire [...] ulteriori innovazioni. L'esperienza legata alle innovazioni tecnologiche passate può suggerire le modalità più adatte per sviluppare innovazioni di successo nel futuro » (Kuznets 1990, p. 179). La definizione appena citata identifica nel progresso tecnologico, e negli aggiustamenti istituzionali e ideologici interconnessi, i fattori propulsivi dello sviluppo economico. In generale, l'introduzione di nuove tecnologie richiede innovazioni organizzative più o meno estese, e l'aggiornamento delle competenze dei lavoratori. Pertanto, gli investimenti in innovazione implicano collaterali investimenti in formazione. Non solo: sussistono consistenti esternalità nell'accumulazione di nuova conoscenza. Quando un'impresa investe in innovazione contribuisce, involontariamente, al potenziamento del *know-how* presente in tutto il sistema economico, accrescendo la produttività generale (Romer 1986). Simili esternalità genera anche l'accumulazione del capitale umano (Lucas 1988).

L'aumento del reddito pro-capite e della diversificazione dei beni economici sono, dunque, strettamente dipendenti dai processi d'innovazione tecnologica, ma anche dalla capacità del tessuto istituzionale, in cui tali processi hanno luogo, di promuovere i collaterali aggiustamenti. Lo stesso Kuznets sottolinea che « lo sviluppo tecnologico costituisce una fonte permissiva dello sviluppo economico, ma rappresenta solamente un potenziale, una condizione necessaria ma in sé non sufficiente. Se si deve impiegare efficientemente e su larga scala la tecnologia, e ancor più se il medesimo progresso tecnologico deve essere stimolato dall'uso della tecnologia, allora è chiaro che debbono affermarsi degli aggiustamenti istituzionali e ideologici tali da influenzare un uso più adeguato delle innovazioni generate dal crescente patrimonio delle conoscenze umane » (Kuznets 1990, p. 89).

La recente teoria della crescita endogena (si veda il Par. 7.3) ha ripreso tali intuizioni, evidenziando la rilevanza dell'attività di ricerca e sviluppo come vettore propulsivo della crescita economica. Le dinamiche attraverso cui le attività di *R&S* pervengono ad influenzare la crescita economica sono essenzialmente due: *a*) consentono di mettere a punto nuovi beni capitali, tipicamente più produttivi di quelli esistenti; *b*) determinano ragguardevoli effetti di *spillover*, generando ricadute positive nell'intero sistema economico.

Tuttavia, all'interno della struttura economica operano anche potenti forze che avversano l'innovazione tecnologica e le relative dinamiche di distruzione-creatrice che questa implica, al fine di preservare le rendite di posizione accumulate nel tempo. Le coalizioni distributive, descritte da Mancur Olson (si veda il Par. 7.2), cercano appunto di circoscrivere gli effetti del progresso tecnologico, riducendo « la capacità di una società di adottare nuove tecnologie e di riallocare risorse in risposta al mutare delle condizioni, e attraverso ciò abbassano il tasso di crescita » (Olson

1982, p. 111).

Il cumularsi di coalizioni distributive in una data economia, nel lungo termine, comprime l'efficienza generale del sistema, rallenta la velocità di incorporazione delle innovazioni tecnologiche nell'apparato produttivo e abbassa i tassi di crescita, gettando le basi per il declino competitivo delle nazioni (Olson 1982). Come sottolinea anche Joel Mokyr, « in ciascuna società gli imprenditori devono scegliere tra far denaro sfruttando condizioni politiche che accrescono la loro fetta di reddito senza farne crescere (o addirittura riducendone) il livello complessivo, e arricchirsi sfruttando opportunità tecnologiche o commerciali socialmente benefiche » (Mokyr 2004, p. 120). Lo sviluppo promosso dalla Rivoluzione Industriale emerse grazie all'Illuminismo che, a sua volta, « produsse un cambiamento politico che rese più attraente l'attività "produttiva" rispetto al comportamento opportunistico finalizzato alla costruzione di rendite di posizione » (Mokyr 2004, p. 120).

Tali dinamiche dimostrano la profonda influenza che le istituzioni espletano sui processi innovativi: « Le istituzioni fissano le strutture di incentivi e penalità per coloro che propongono nuove tecniche. La cultura determina preferenze e priorità; tutte le società dipendono dal cibo, ma sono i fattori culturali a stabilire se i migliori e più intelligenti tra i loro membri si occuperanno di macchine o di sostanze chimiche oppure si dedicheranno all'arte della spada o ancora allo studio del Talmud » (Mokyr 2004, p. 35). Sotto questo profilo, l'innovazione rappresenta una *costruzione istituzionale*, nella misura in cui le istituzioni forniscono il quadro di incentivi propedeutici all'attivazione di processi innovativi sistematici e su vasta scala entro la struttura economica. I divari internazionali di ricchezza riflettono l'operare di configurazioni istituzionali fortemente differenziate.

« Per gran parte della storia umana il tenore di vita nei diversi paesi è rimasto relativamente omogeneo. Il divario fra mondo sviluppato e mondo sottosviluppato è un problema emerso in forme dirompenti solo negli ultimi secoli. L'incapacità da parte del Terzo Mondo di sfruttare le promesse della tecnologia moderna è in drammatico contrasto con l'esperienza del mondo sviluppato; essa riflette una struttura istituzionale che (con le relative credenze sottostanti) impedisce la diffusione di scambi impersonali e la conseguente crescita della produttività » (North 2006, p. 127). Dove l'assetto istituzionale disincentiva o, addirittura, ostacola l'innovazione, l'economia è condannata alla stagnazione. La storia mondiale offre molteplici esempi in tal senso.

Innovazione e istituzioni

Tra il 750 e il 1100 d. C. la scienza e la tecnologia, nel mondo islamico, erano di gran lunga più avanzate che in Occidente. Il declino del mondo islamico iniziò quando si chiuse all'innovazione. Dall'astronomia alla stampa, le autorità religiose posero ostacoli insormontabili alla diffusione di tecnologie che, incorporate nel sistema produttivo, hanno invece fatto da propellente alla spettacolare ascesa del mondo Occidentale (Ferguson 2012). Bollate come eretiche, molte tecnologie e attività di ricerca scientifica furono completamente rigettate dal mondo islamico e dalle sue guide religiose. In Europa le autorità ecclesiastiche si mostrarono meno dogmatiche nei confronti della scienza, sebbene anche qui non mancarono frizioni e attriti, tentativi di imbrigliare l'attività di ricerca. La storia di Galileo Galilei è emblematica in tal senso. Tuttavia, gli spazi di autonomia per l'attività scientifica e l'innovazione risultavano decisamente maggiori. La

separazione tra potere spirituale e temporale fornì un supporto decisivo in questa direzione. Tale principio (sebbene rigettato a lungo dalla stessa Chiesa cattolica) costituiva un fondamento del Cristianesimo sin dalle sue origini, inequivocabilmente espresso nell'esortazione di Gesù di dare « a Cesare quel che è di Cesare, a Dio quel che è di Dio ».

Anche il progressivo dilatarsi del divario tra Occidente e Cina, a partire dalla Rivoluzione Industriale, è ascrivibile a fattori di ordine istituzionale. La Cina, nel XIV secolo, arrivò a un passo dalla rivoluzione industriale (Mokyr 1995). Tuttavia, di colpo, il progresso scientifico venne bloccato, e il passo decisivo verso l'industrializzazione non venne mai compiuto. Cosa accadde?

Il timore che il mutamento tecnologico potesse avere effetti negativi sulla stabilità sociale spinse i detentori del potere a prevenire ogni ulteriore sviluppo che potesse destabilizzare l'ordine e lo *status quo*. Anche la burocrazia, che ricavava considerevoli vantaggi dall'ordine esistente, condivideva simili preoccupazioni e l'avversione per ogni mutamento (Acemoglu e Robinson 2013). Così la Cina divenne uno Stato burocratico chiuso e conservatore, privo di incentivi all'innovazione, deviando visibilmente dalla dinamica traiettoria tecnologica che pure aveva percorso nei secoli precedenti (Mokyr 1995). Anche in questo caso, le cause delle pessime performance cinesi, e la mancata conversione del potenziale tecnologico in sviluppo economico, vanno probabilmente ascritte ai mutamenti intervenuti entro l'assetto istituzionale. Come evidenziato dal sinologo Etienne Balazs (1905-1963), « è lo Stato che uccide il progresso tecnologico in Cina [...] l'atmosfera di routine, di tradizionalismo e di immobilità, che rende sospetta qualsiasi innovazione, qualsiasi iniziativa non ordinata o precedentemente sanzionata, non favorisce lo spirito della libera ricerca » (Balazs 1964, p. 23).

Ove manchino spazi per l'arricchimento privato, anche gli incentivi all'innovazione risultano molto ridotti. La Cina e il mondo islamico costituiscono casi paradigmatici in tal senso: non si sperimentavano più nuove tecnologie, data la difficoltà di sostenerne la diffusione e la sostanziale impossibilità di sfruttarne le ricadute. L'esperienza cinese, inoltre, dimostra la possibilità di *oblio tecnologico*: tecniche avanzate a un certo punto possono venire "dimenticate", messe da parte, e sostituite da altre meno efficienti o meno complesse. Non necessariamente la conoscenza progredisce seguendo traiettorie lineari e cumulative. Arretramenti sono sempre possibili, ove non operi un'adeguata cornice istituzionale, atta ad orientare nella giusta direzione il progresso dell'innovazione.

Lo Stato, beninteso, non necessariamente disincentiva l'innovazione. Al contrario, può assumere un ruolo propulsivo nella modernizzazione tecnologica (Mazzucato 2014). Un esempio in tal senso è fornito dal Giappone all'epoca della Restaurazione Meiji (1868). Dopo secoli d'immobilismo, il paese – grazie appunto al supporto dello Stato – sperimentò veloci avanzamenti in campo tecnologico. Anche durante il XX secolo il ruolo dello Stato è risultato determinante per consentire al paese di operare sulla frontiera dell'innovazione, rendendo il Giappone leader mondiale nelle tecnologie elettroniche.

Rispetto al mondo islamico e cinese – che nei secoli antecedenti alla Rivoluzione Industriale risultavano entrambi più avanzati della frammentata Europa – l'infrastruttura istituzionale continentale incorporava molte meno ingerenze negli affari privati. Inoltre la tradizione giudaico-cristiana europea, rispettosa della proprietà privata, ha supportato una maggiore remunerazione dell'innovazione e un sostegno indiretto alla libera iniziativa, altrove assenti: fattori fondamentali ai fini dell'affermazione e del rafforzamento del mercato. In Europa è stata riconosciuta agli individui ampia libertà d'azione nella sperimentazione di nuove soluzioni, soprattutto in campo economico (Rosenberg e Birdzell 2008). Ciò ha consentito di configurare un assetto istituzionale sempre più

efficiente, selezionando le strutture che meglio di altre si sarebbero adattate a sostenere lo sviluppo economico. Proprio in questa maggiore libertà di sperimentazione istituzionale i due autori identificano il fattore determinante che ha consentito all'Occidente di svilupparsi prima, e più velocemente, rispetto ad altri contesti istituzionali.

Neil Ferguson (1964-) individua sei fattori fondamentali che hanno supportato lo sviluppo dell'Occidente: la competizione, la scienza, i diritti di proprietà, la medicina, la società dei consumi, l'etica del lavoro. Così definisce ciascuno di questi aspetti: « 1. Competizione: una decentralizzazione della vita politica ed economica, che ha fatto da piattaforma di lancio sia per gli Stati-nazione sia per il capitalismo. 2. Scienza: un modo di studiare, comprendere e trasformare il mondo naturale che ha dato all'Occidente (tra molte altre cose) un netto vantaggio militare sul resto del mondo. 3. Diritti di proprietà: lo Stato di diritto come strumento per proteggere i proprietari privati e risolvere pacificamente le loro controversie, che ha costituito il fondamento per la forma finora più stabile di governo rappresentativo. 4. Medicina: un ramo della scienza che ha consentito un decisivo miglioramento della salute e dell'aspettativa di vita, prima nelle società occidentali e successivamente anche nelle loro colonie. 5. Società dei consumi: un modello di vita materiale in cui la produzione e l'acquisto di vestiti e di altri beni di consumo ha un essenziale ruolo economico e senza il quale la Rivoluzione Industriale non sarebbe stata realizzabile. 6. Etica del lavoro: un'impalcatura morale e un modello di attività derivato dal cristianesimo protestante (ma anche da altre fonti) che unisce il collante per tenere insieme la dinamica e potenzialmente instabile società prodotta dalle applicazioni 1-5 » (Ferguson 2012, pp. 33-34). L'ascesa della capacità competitiva dei Paesi Occidentali, entro la prospettiva suggerita da Ferguson, non è solo ascrivibile alla forza endogena a tale assetto, ma va anche attribuito al *caso*, che ha reso più deboli i potenziali rivali dell'Occidente, decretandone il declino.

Tale positiva costellazione di fattori, unitamente alla Rivoluzione Scientifica del XVII secolo, aprirono la strada alla Rivoluzione Industriale del secolo successivo. Secondo David Landes (2006a, p. 215) il successo scientifico dell'Europa in campo scientifico va ascritto almeno a tre fattori fondamentali: l'autonomia degli scienziati; lo sviluppo di un metodo scientifico; la standardizzazione della scoperta (*l'invenzione dell'invenzione*). Per quanto concerne il primo aspetto, gli spazi di autonomia degli scienziati si dilatarono nel tempo. Lo scontro tra Stato e Chiesa, e la separazione tra potere materiale e spirituale, contribuì indirettamente ad innalzare il livello di autonomia accordato alle attività di ricerca. Il metodo scientifico, basato sull'osservazione sperimentale, costituisce un altro importante subprodotto della civiltà occidentale, dal quale sono scaturiti secoli di scoperte e innovazioni. Un flusso di produzione incessante di nuova conoscenza, basata su una metodologia condivisa e comunemente accettata d'indagine scientifica. In ultimo, il terzo pilastro della scienza occidentale: la standardizzazione. Essa rende possibile il dialogo, il confronto e la cooperazione tra scienziati appartenenti a differenti comunità nazionali e sostiene la formazione di una comunità scientifica internazionale. Inoltre, « data la trasmissibilità a livello mondiale delle moderne conquiste della conoscenza, si evidenzia il carattere transnazionale di tale *stock* di conoscenza e la dipendenza da tale *stock* di ciascuna nazione nel corso della sua crescita economica moderna » (Kuznetz 1966, p. 287). L'ascesa dell'Occidente è dunque strettamente interconnessa a un evento ampiamente discusso nei capitoli precedenti: lo sviluppo del suo apparato industriale.

Sviluppo industriale e conoscenza

« La chiave della Rivoluzione Industriale fu la tecnologia, e la tecnologia è conoscenza » (Mokyr 2004, p. 49). La conoscenza tecnologica incorporata nelle macchine costituisce la principale leva della ricchezza delle nazioni (Mokyr 1995). «La tecnologia è conoscenza, anche se non tutta la conoscenza è tecnologica [...] ogni aspetto della nostra esistenza materiale è stato modificato da queste nuove conoscenze » (Mokyr 2004, p. 14). La conoscenza tecnologica, da un punto di vista economico, è *conoscenza utile*, come definita dal Simon Kuznets (1969). La conoscenza utile influenza le tecniche di produzione utilizzate in un dato momento entro la struttura economica (Ziman 1984). La conoscenza utile è conoscenza (spesso) *condivisa*. Mokyr distingue tra conoscenza controversa (o speculativa) e conoscenza condivisa, che definisce *compatta*. La compattezza della conoscenza implica due dimensioni critiche: la fiducia e il consenso. « Quanto più una data conoscenza è compatta, tanto più persone che l'accettano sono sicure di quello che credono e tanto meno è probabile che ci siano persone convinte del contrario [...] Alla fin fine, ciò che sa ciascun individuo è meno importante di quello che sa la società nel suo complesso. Se anche in una società pochissimi si intendono di meccanica quantistica, i risultati pratici che la conquista di questa branca della conoscenza assicurano alla tecnologia possono essere disponibili come se tutti avessero preso lezioni di fisica avanzata [...] quello che conta è la conoscenza collettiva » (Mokyr 2004, pp. 20-21). La crescita dello *stock* di conoscenza *utile* e della conoscenza *compatta* costituiscono componenti coesenziali e distintive delle società moderne, le basi funzionali che hanno fornito il necessario substrato all'eccezionale espansione economica registrata a partire dalla Rivoluzione Industriale.

La conoscenza rappresenta, tuttavia, solo una preconditione permissiva, necessaria ma non sufficiente perché si abbia lo sviluppo economico. L'assetto istituzionale, e gli incentivi operanti nel sistema economico, costituiscono fattori non meno rilevanti per rendere *utile* la conoscenza disponibile, incorporandola nel potenziamento della capacità produttive della struttura economica. Come nota a tal proposito Robert Allen, « l'invenzione della macchina a vapore evidenzia l'importanza degli incentivi economici nell'indurre le innovazioni. La teoria della forza del vapore era nota in tutta Europa, ma le attività di ricerca e sviluppo furono svolte in Inghilterra, poiché era lì che conveniva usare la macchina a vapore » (Allen 2013, p. 45).

La capacità di innovazione dipende inoltre dalle barriere frapposte alla circolazione della conoscenza: se la conoscenza è controllata da un gruppo circoscritto di individui (come la burocrazia imperiale cinese o l'élite aristocratica della civiltà classica), crescono i rischi che il *know-how* diventi inaccessibile, o addirittura venga disperso. Afferma Mokyr (2004, p. 53): « Quando si verificava un progresso economico, esso generava di solito forze sociali e politiche che, quasi dialetticamente, lo stroncavano. Prosperità e successo favorivano la proliferazione di predatori e parassiti in varie forme e guise, i quali finivano per uccidere la gallina dalle uova d'oro. Esattori delle tasse, invasori stranieri e coalizioni alla ricerca di rendite di posizione, quali ad esempio corporazioni e monopoli, finirono per divorare gran parte della crescita che si verificò in Italia settentrionale, nella Germania meridionale e nei Paesi Bassi. [...] gli interessi costituiti erano in grado di arrestare il progresso tecnologico attraverso meccanismi non di mercato». I vincoli istituzionali all'innovazione risultavano molto frequenti in epoca premoderna, ma non sono stati rimossi del tutto con l'avvento della Rivoluzione Industriale.

Anche i *costi di accesso* influenzano la disponibilità e la velocità di diffusione della conoscenza e dell'innovazioni (Griliches 1979). I costi di accesso *privati* quantificano costi di tempo, di

apprendimento e il consumo di risorse reali per l'utilizzo di nuove conoscenze (Reiter 1992, p. 3). Quando i costi di accesso risultano eccessivamente elevati, la conoscenza sociale scompare. Tale categoria di costi, dunque, determina le potenzialità di diffusione della conoscenza e, di riflesso, la velocità generale di innovazione del sistema economico, tanto maggiore quanto minori risultano i costi di accesso. « I costi di accesso non dipendono unicamente da variabili tecnologiche ma anche dalla cultura della conoscenza: se coloro che sono in possesso la considerano una fonte di ricchezza, potere o privilegio, tenderanno a custodirla gelosamente » (Mokyr 2004, p. 23).

Gli imprenditori, incentivati dall'aumento dei profitti all'introduzione di innovazioni, cercarono di sfruttare questi meccanismi per espandere il rispettivo potere di mercato, in un mondo ormai dominato dalla competizione e nel quale l'arricchimento personale non è più considerato un tabù socialmente censurato. L'approccio baconiano alla scienza, che conferì a questa carattere pragmatico, fornì ulteriore impulso all'uso strumentale della conoscenza in campo economico. Anche lo sviluppo di una letteratura tecnica, ossia di pubblicazioni orientate alla divulgazione della conoscenza tecnologica, ha agito da potente vettore di diffusione di un'*etica scientifica* entro la nascente società industriale (Eseinstein 1986, p. 633). « La diffusione di una conoscenza generale e di un gusto per la scienza fra tutte le classi sociali, in ogni nazione europea o di origine europea, sembra essere il tratto caratteristico di quest'epoca »: così James Keir (cit. in Musson e Robinson 1974, p. 117), chimico, descriveva – nel lontano 1789 – il crescente interesse per la scienza in Europa.

Nel complesso, dal XVIII secolo si è innescato un meccanismo in base al quale da ogni innovazione ne scaturiscono di ulteriori, senza soluzione di continuità, alimentando l'espansione industriale e la crescita economica. Tale dinamica, in particolare nell'ultimo secolo, è stata ulteriormente potenziata dall'*istituzionalizzazione dell'innovazione* (Mowery e Rosenberg 1998), attraverso la creazione di grandi laboratori di ricerca privati, interni alle aziende, operanti in stretta connessione con università e centri di ricerca pubblici. Gli avanzamenti ottenuti nel campo della biologia, della fisica, della chimica e della medicina sono riflesso di tale approccio strutturato alla ricerca e all'innovazione.

Ovviamente, anche fattori di ordine puramente economico concorrono ad incentivare o scoraggiare il ricorso all'innovazione tecnologica. A parità di altre condizioni, l'introduzione di innovazioni risulta tanto più conveniente quanto maggiore è il costo del lavoro, dato il minore costo-opportunità indotto dalla sostituzione di lavoro con capitale. Nei paesi in cui il costo del lavoro è più basso, non sussiste invece un analogo incentivo ad effettuare costosi investimenti in innovazioni: conviene piuttosto continuare ad impiegare nuove unità di lavoro, più a buon mercato rispetto alle tecnologie produttive *labour saving*.

Nel complesso, gli economisti non hanno ancora sviluppato un adeguato apparato teorico-concettuale in grado di spiegare in modo appropriato i processi innovativi e l'apporto da questi fornito allo sviluppo economico. Così, la teoria economica ha talvolta trascurato il ruolo espletato dal processo tecnico nella promozione dello sviluppo. Tentativi in questa direzione sono stati compiuti dalla recente teoria della crescita endogena.

Ma come nasce il progresso tecnico? Gli *innovation studies* cercano appunto di enucleare le dinamiche generative dei processi innovativi. Nella seguente trattazione esporremo alcuni dei contributi formulati nell'alveo di tale filone di studi. Partiamo anzitutto dalla letteratura sui sistemi nazionali e regionali di innovazione.

Sistemi nazionali e regionali di innovazione

Christopher Freeman (1987) ha posto l'accento sui *sistemi nazionali di innovazione*, identificando il fulcro dei processi innovativi nelle dense reti di relazioni che si strutturano, tra aziende e sistema di ricerca, su scala nazionale. Nel decennio successivo al lavoro di Freeman, si sono moltiplicati i contributi che hanno identificato all'assetto politico-istituzionale nazionale l'unità di analisi più appropriata per studiare i processi innovativi (Lundvall 1992; Lundvall e Borras 1998). La parabola di questi studi, tuttavia, è stata decisamente breve.

Con l'avvento della globalizzazione, una crescente letteratura preannunciava l'erosione dei poteri dello Stato-nazione, o addirittura la sua scomparsa (Ohmae 1996), e la contestuale ascesa dei sistemi produttivi locali. Tale dibattito ha avuto riflesso anche negli studi sull'innovazione, attirando l'attenzione sui *Sistemi regionali di innovazione*. Questi sono definiti come « network localizzati di istituzioni sia pubbliche che private le cui attività e interazioni avviano, importano, modificano e diffondono nuove tecnologie » (Evangelista *et al.* 2002, p. 174). Entro tali reti interagiscono attori afferenti a due sotto-sistemi fondamentali: da un lato, i produttori di innovazioni (università, centri di ricerca pubblici e privati, ecc.), aventi funzioni di *innovation-makers*; dall'altro, le aziende, le utilizzatrici finali delle innovazioni, nel ruolo di *innovation-takers* (Russo 2013). Tali interazioni sono talvolta mediate e facilitate, su scala regionale, da istituzioni preposte al trasferimento tecnologico, gli *innovation-brokers* (Russo 2013). L'innovazione, sotto questo profilo, diviene un esito co-generato attraverso l'interazione continua tra attori localizzati nel medesimo spazio locale (Cooke *et al.* 1997). Le performance innovative dei sistemi regionali risultano altresì potenziate dalla presenza di infrastrutture e di beni collettivi di supporto, come servizi avanzati di trasferimento tecnologico, disponibilità di *venture capital*, politiche pubbliche di sostegno all'innovazione (Cooke e Morgan 1998). I sistemi regionali, inoltre, intrattengono frequenti e proficue relazioni con agenti esterni al territorio: non vanno pertanto intesi come reti chiuse su scala regionale, essendo l'apertura un potente vettore di rafforzamento delle capacità innovative locali (Russo 2013). Anche l'apporto delle università e dei centri di ricerca è determinante ai fini del dinamismo del sistema regionale di innovazione (Gherardini 2015).

Nella spiegazione dei processi innovativi, i sistemi regionali si collocano su una dimensione di scala più idonea ad analizzare i differenziali che pure sussistono tra i diversi ambiti territoriali inclusi all'interno del medesimo sistema nazionale di innovazione (Howells 1999). In altri studi, il sistema nazionale di innovazione è appunto rappresentato come aggregazione di molteplici sistemi regionali, relativamente indipendenti e con performance estremamente variegata, che, nel loro complesso, generano la capacità innovativa nazionale (Chung 2002). Di recente si è cercato di integrare l'analisi dei sistemi nazionali e di quelli locali, distinguendo tra (Asheim e Isaksen 2002; Asheim e Coenen 2005):

- *sistemi regionalizzati* – intrattengono intense relazioni con attori esterni al contesto locale. Tali relazioni assumono un'intensità e una rilevanza, ai fini del sostegno ai processi innovativi, eguale o addirittura maggiore rispetto alle relazioni locali;
- *sistemi reticolari* – in tali sistemi le interazioni tra *innovation-makers* e gli *innovation-takers* sono intermedie dagli *innovation-brokers*, che ne potenziano le ricadute in termini di innovazione tecnologica;
- *sistemi localizzati* – in essi prevale un modello di innovazione incrementale e informale, sostenuto dalle imprese attraverso la cooperazione su scala locale. Le relazioni con il sistema

universitario e il mondo della ricerca, invece, non risultano particolarmente strutturate, né consolidate o stabili. Tale sistema regionale di innovazione ricalca quello caratteristico dei distretti industriali italiani (Ramella 2013).

All'interno dei sistemi di innovazione – siano essi regionali o nazionali – interagiscono tre attori fondamentali dei processi innovativi: il *governo*, le *università* e le *imprese*. Le relazioni che si instaurano tra questi tre attori, e le relative ricadute in termini di innovazione tecnologica, sono efficacemente sintetizzate nel *modello della tripla elica* (Etzkowitz e Leydesdorff 1997 e 2000; Etzkowitz 2003) formulato da Henry Etzkowitz (1940-) e Loet Leydesdorff (1948-). Il modello consta di tre diversi stadi di evoluzione dei rapporti tra governo, imprese e università:

- nel primo stadio, imprese e università operano separatamente, mentre i relativi interscambi vengono coordinati dal governo, all'interno di un quadro economico nazionale dai lineamenti fortemente *dirigisti*, dominato dall'intervento pubblico. In tale fase prevale un modello di *università-torre d'avorio*, autoreferenziale e chiusa ai rapporti esterni;
- nello stadio successivo università e imprese si aprono a forme embrionali di cooperazione sul fronte dell'innovazione, percependone i relativi vantaggi. Le interazioni tra imprese e università, non più intermedie dallo Stato, risultano piuttosto instabili, non strutturate, e guidate dal mercato;
- nel terzo stadio emerge la tripla elica. Le relazioni tra i tre attori sono ormai consolidate, e risultano di intensità tale da generare innovazione continua. L'università acquisisce una notevole centralità nella promozione dell'innovazione: commercializza i prodotti della ricerca, avvia aziende *spin-off* e trasferisce il suo *know-how* direttamente alle imprese (*hybrid university*). Il governo facilita ulteriormente gli interscambi.

Gli *innovation studies* analizzano dunque come la conoscenza viene prodotta attraverso l'interazione tra questi tre attori fondamentali, e come successivamente si diffonde all'interno del sistema economico.

Gli *innovation studies*

Richard Nelson (1930-) e Sidney Winter (1935-) definiscono *routine* le unità fondamentali di cui si compone la conoscenza tecnologica (Nelson e Winter 1982). Le *routine*, concretamente, consistono in procedure eseguibili per la manipolazione del mondo fisico e la realizzazione della produzione. Le aziende sono appunto descritte da Nelson e Winter come un complesso di *routines*. Ciascuna economia ha accesso a un insieme dato di conoscenze, che ne definiscono le capacità tecnologiche e produttive. Da questo complesso di conoscenze gli agenti economici (dai contadini alle multinazionali dell'*high-tech*) selezionano le tecniche che effettivamente impiegheranno nel processo produttivo. Tale dinamica di *selezione tecnologica* (Nelson e Winter 1982) costituisce una sorta di equivalente della selezione naturale.

Il progresso tecnologico interviene determinando la sostituzione di *routines* consolidate con nuove pratiche, maggiormente efficienti o più idonee a garantire l'adattamento delle aziende al mutevole contesto ambientale in cui operano. Le aziende che presentano maggiori possibilità di sopravvivenza sono quelle che incorporano per prime le innovazioni, mentre quelle tardano nel

processo di adattamento, soccombono. Per Nelson e Winter la struttura di ogni settore industriale rappresenta, in ultima analisi, l'esito di un *processo evolutivo*. Le dinamiche di ogni settore industriale sono strettamente legate alle vicende delle singole imprese che lo costituiscono. Alcune aziende si sviluppano più velocemente, risultando più competitive e dinamiche, altre crescono lentamente, ristagnano o declinano.

Le conoscenze tecnologiche utilizzate dalle aziende possono essere *tacite* o *codificate*. Prima della Rivoluzione Industriale, l'accesso alla tecnologia seguiva fondamentalmente due differenti percorsi di diffusione della conoscenza tacita artigianale: gli *spostamenti* della forza lavoro e lo *spionaggio* (Harris 1976 e 1998). Anche nei secoli successivi, la conoscenza codificata ha avuto un ruolo tutto sommato secondario rispetto alla trasmissione tacita del saper fare attraverso il contatto diretto (Harris 1976 e 1998). La trasmissione codificata risulta al più complementare di quella tacita: in rari casi è del tutto sostitutiva di quest'ultima. Anche la tecnologia contemporanea, sebbene più codificata e perciò più accessibile rispetto al passato, continua a incorporare una quota consistente ed ineliminabile di conoscenza tacita, che può essere trasmessa solo attraverso il contatto diretto con le persone che controllano tali domini tecnologici e tale *know-how* (Cowan e Forey 1997).

L'innovazione tecnologica, a sua volta, può avere natura *incrementale* o *radicale*. Storicamente, l'innovazione ha assunto prevalentemente forma incrementale: si è estrinsecata in *piccoli* miglioramenti di tecnologie, processi o prodotti *esistenti* (Mokyr 1995; Rosenberg 2001). L'innovazione radicale comporta invece l'introduzione di tecnologie completamente nuove. La macchina a vapore, l'elettricità e i computer rappresentano tutti esempi di innovazioni radicali che, tra l'altro, hanno dato origine a prolungate fasi di espansione economica.

Le innovazioni radicali sono tipicamente tecnologie *general purpose*, cioè suscettibili di applicazioni su vasta scala e orientate ad usi multipli (Bresnahan e Trajtenberg 1992, p. 1). Siccome l'apprendimento di queste nuove tecnologie richiede tempo ed esperienza, necessitano di complessi e preliminari aggiustamenti nell'organizzazione industriale, la loro introduzione non determina effetti immediati in termini di guadagni di produttività. L'efficienza delle tecnologie *general purpose* tende così a crescere nel tempo, per effetto congiunto sia dei continui aggiustamenti incrementali che ne migliorano l'efficienza, sia delle dinamiche di apprendimento (Bresnahan e Trajtenberg 1992, p. 5). Sul piano economico, le innovazioni radicali implicano dunque traiettorie fortemente irregolari, a seguito delle quali fasi di rapida crescita subentrano a periodi di rallentamento prolungato. La storia della scienza e della tecnologia è inoltre ricca di casi di scoperte che, una volta compiute, vengono accantonate e ignorate per molti anni, prima di essere "riscoperte" da altri scienziati, operanti in modo assolutamente autonomo, aprendo la strada alla loro incorporazione nella scienza ufficiale o alla diffusione di tali tecnologie. Il momento in cui una data conoscenza inizia a circolare è più rilevante, ai fini del suo impatto, del momento in cui il *know-how* è stato messo a punto.

Il sociologo Robert K. Merton parla, in tal senso, di *scoperte multiple*. « La struttura delle scoperte multiple indipendenti nella scienza, lungi dall'essere strana, singolare o straordinaria, è in linea di principio dominante più che secondaria. Sono le scoperte singole – le scoperte che si fanno solo una volta nella storia della scienza – ad essere eccezioni che richiedono una spiegazione particolare » (Merton 1981, p. 471). E ancora: « La storia della scienza registra migliaia di esempi di scoperte similari fatte da scienziati che lavoravano ognuno per suo conto. In taluni casi le scoperte sono simultanee o quasi, in altri uno scienziato ripete una scoperta fatta a sua insaputa da altri anni prima. Tali episodi inducono a pensare che le scoperte diventano praticamente inevitabili

quando certi presupposti di conoscenza e di strumenti si sono accumulati nel nostro bagaglio culturale e quando l'attenzione di un certo numero di ricercatori si è concentrata su di un problema, sia per bisogni emergenti, sia per sviluppi interni della scienza, o per entrambi i motivi » (Merton 1981, p. 467).

Gli scienziati, inoltre, sono legati sia al *passato* – attraverso la conoscenza *ereditata* – sia al *presente* – attraverso l'interazione con altri scienziati. La scienza è, da questo punto di vista, un'attività eminentemente sociale. Anche lo scienziato, come qualsiasi altro agente sociale, è inserito entro un contesto socio-istituzionale dato, e ne risulta profondamente influenzato. Gli scienziati « rispondono a forze sociali e intellettuali pressoché uguali che influiscono su tutti loro » (Merton 1981, p. 471). L'assetto istituzionale e le interazioni sociali influenzano non solo la produzione della conoscenza e dell'innovazione, ma anche l'*adozione* e la *diffusione* delle nuove tecnologie. Tali processi seguono dinamiche piuttosto irregolari e *path dependent*, ben diverse da quelle postulate nei modelli razionali.

Secondo la semplice ma potente idea della *path dependency*, eventi anche limitati possono generare conseguenze sproporzionatamente grandi (si veda il Par. 7.2). Tale prospettiva si pone in netta antitesi con l'analisi economica tradizionale, basata invece sull'idea di relazioni lineari tra fenomeni, secondo cui la dimensione dell'effetto è equivalente alla dimensione della causa. Questa differenza, apparentemente marginale, implica invece effetti notevoli in termini di analisi dei processi economici (Arthur 1994). Così, mentre la teoria neoclassica assume che l'imprenditore razionale sceglierà la combinazione più efficiente di fattori di produzione e di tecnologie disponibili, in modo da massimizzare il profitto, secondo la prospettiva basata sulla *path dependency* le cose vanno diversamente. Le tecnologie di cui si avvarrà non necessariamente saranno quelle più efficienti e avanzate. Molto spesso, le tecnologie a disposizione degli imprenditori sono frutto di eventi casuali, piuttosto che di scelte razionali. Inoltre, la storia della tecnologia dimostra la notevole frequenza con cui tecnologie meno efficienti e inferiori prevalgono su quelle più avanzate ed efficienti, semplicemente perché – a seguito di eventi accidentali – diventano vincolanti per l'utente. L'affermazione della tecnologia di videoregistrazione *VHS* sullo standard *Betamax* fornisce un esempio in tal senso. La maggiore diffusione del primo formato, sebbene tecnicamente inferiore rispetto al *Betamax*, ha vincolato gli utenti all'adozione del *VHS*, spingendo fuori mercato lo standard concorrente (Arthur 1994, p. 2).

Nel settore dell'innovazione tecnologica si determinano quindi frequenti fenomeni di *lock-in*. Il *lock-in* si verifica quando, pur essendo presenti alternative tecnologiche più efficienti o avanzate (come nel caso dello standard *Betamax*), gli agenti di mercato si trovano intrappolati in equilibri economici subottimali a causa di scelte operate in passato. Le dinamiche di mercato non assicurano che le traiettorie tecnologiche effettivamente seguite dall'apparato produttivo corrispondano a quelle più efficienti sul piano tecnico.

Paul David (1936-) riporta il caso della disposizione delle lettere sulle tastiere per macchine da scrivere e computer. Il layout *QWERTY* venne appositamente scelto per *rallentare* la velocità di scrittura, al fine di evitare che i martelletti della macchina da scrivere si inceppassero. L'alternativa, la tastiera *DSK*, era stata ideata da August Dvorak appunto per fare muovere meno le dita, consentendo una scrittura *più* veloce del 40% rispetto alla tastiera *QWERTY* (David 1985). Con l'avvento del computer, che ovviamente non presenta il problema dei martelletti, le tastiere continuano ad incorporare l'inefficienza della *QWERTY* per un semplice fenomeno di *lock-in*. La dipendenza dal sentiero vincola alle scelte operate in passato, rafforzandone la pervasività anche a scapito dell'efficienza.

Box 7.6 – Tecnologie e dinamiche di *lock-in*

Secondo Arthur (1994, pp. 112-114) sussistono almeno quattro caratteristiche delle tecnologie che implicano dinamiche di *lock-in* e rendimenti crescenti:

- gli *elevati costi fissi iniziali* – ulteriori investimenti in tecnologie esistenti implicano rendimenti crescenti. La produzione su vasta scala consente di diluire i costi fissi, riducendo così il costo unitario all'aumentare della scala di produzione. Quando i costi fissi sono elevati, gli incentivi a deviare dalle traiettorie tecnologie selezionate si riducono drasticamente. Così, le decisioni di investimento operate in passato vincolano le scelte presenti e i sentieri futuri;
- gli *effetti di apprendimento (learning effects)* – la conoscenza acquisita attraverso l'uso continuativo di sistemi complessi porta a rendimenti crescenti. Attraverso l'uso, gli individui imparano ad usare in modo più efficiente la tecnologia (*learning by doing*) e ciò stimola la produzione di ulteriori innovazioni nella tecnologia in uso, piuttosto che lo sviluppo di tecnologie alternative, anche quando potenzialmente più efficienti;
- *effetti di coordinamento (coordination effects)* – quando un agente sperimenta vantaggi connessi all'adozione di una data tecnologia, anche altri sono stimolati ad adottare la medesima tecnologia. Alcune tecnologie, inoltre, implicano esternalità di rete positive, con vantaggi crescenti all'aumentare del numero di utilizzatori. Ad esempio il telefono: l'utilità dell'apparecchio cresce all'aumentare del numero di utenti connessi alla rete telefonica. Inoltre, il maggiore uso di una tecnologia incentiva investimenti in infrastrutture connesse. Ad esempio, la crescita dell'uso di automobili ha indotto rilevanti investimenti nella creazione di reti stradali;
- *aspettative adattive* – se una data opzione tecnologica, nella sua fase iniziale, fallisce nel suscitare un vasto interesse, determina la diffusione di aspettative negative tra gli agenti di mercato. Si determina, in tal modo, una profezia che si auto avvera: ritenendo una data tecnologia destinata a non diffondersi sul mercato, nessuno la adotterà. Ciò ne decreterà l'effettivo fallimento. Le proiezioni sui futuri modelli di consumo portano gli individui a selezionare le opzioni che decretano l'avverarsi delle loro aspettative.

L'economia dell'informazione e della conoscenza

Manuel Castells (1942-) distingue tre diversi modi di sviluppo, affermatasi in tre diversi fasi storiche in sinergia con lo stato dell'evoluzione tecnologica: « Nel modo di sviluppo agrario [...] la fonte di incremento del *surplus* deriva da aumenti quantitativi di manodopera e di risorse naturali (in particolare la terra) nel processo di produzione, nonché dalla dotazione naturale di tali risorse. Nel modo di sviluppo industriale, la principale causa di produttività risiede nell'introduzione di nuove fonti di energia e nella capacità di decentrare l'impiego di energia in tutti i processi di

produzione e circolazione. Nel nuovo modo di sviluppo, quello informazionale, invece, la fonte di produttività risiede nella tecnologia della generazione del sapere, dell'elaborazione delle informazioni – e della comunicazione simbolica [...] ogni modo di sviluppo possiede anche un principio operativo strutturalmente determinato, intorno al quale sono organizzati i processi tecnologici: l'industrialismo è orientato alla crescita economica, ovvero alla massimizzazione della produzione; l'informazionalismo è orientato allo sviluppo tecnologico, ovvero all'accumulazione di conoscenza e a sempre più alti livelli di complessità nell'elaborazione dell'informazione. Anche se livelli superiori di conoscenza possono determinare un maggiore *output* per unità di *input*, è il perseguimento continuo di conoscenza e informazione che caratterizza la funzione di produzione tecnologica dell'informazionalismo » (Castells 2014, p. 17-18).

Nell'economia della conoscenza, i costi di produzione sono, essenzialmente, costi fissi. Dai videogiochi ai film, i costi sostenuti *non* dipendono dai volumi di produzione, ma sono quasi interamente concentrati nella creazione della “prima copia” completa del *software* o della produzione cinematografica. Le copie successive hanno un costo di pochi centesimi, rappresentato dal supporto (il *dvd*, ad esempio) sul quale vengono diffusi. I costi di produzione della conoscenza presentano dunque un andamento fortemente decrescente: « Il costo è concentrato sulla prima unità (sulla prima applicazione della conoscenza), per produrre la quale occorre intraprendere un faticoso e incerto processo di apprendimento. Ma, una volta che si è ottenuta una soluzione che “funziona”, le successive unità (applicazioni) della stessa conoscenza saranno ottenibili a costi di gran lunga inferiori alla prima [...] i costi di riproduzione della soluzione che funziona saranno, comunque, incomparabilmente inferiori a quelli che si sono sostenuti per realizzare la prima produzione » (Rullani, 2004, pp. 161-162). Lo stesso ragionamento vale per tutti gli altri prodotti dell'industria della conoscenza. Anche in quest'ultimo caso, i maggiori costi sono sostenuti a monte per l'attività di *R&S*. In campo farmacologico, ad esempio, una volta individuata una nuova molecola, replicarla su scala industriale implica costi di fabbricazioni relativamente ridotti rispetto a quelli di ricerca. Pertanto, quanto più ampio risulta il mercato di sbocco, tanto più velocemente crescono gli utili.

La produzione delle tecnologie più avanzate e innovative dipende largamente dall'intervento umano. Si tratta, dunque, di un'attività *labor intensive*, a differenza della fabbricazione di beni che incorporano conoscenze tecnologie ormai mature, nei cui cicli produttivi si fa più ampio ricorso a robot e a forme di automazione *capital intensive* che riducono al minimo l'apporto degli operai. Tuttavia, l'economia della conoscenza richiede sempre meno lavoro, e appare associata a livelli sistematicamente più elevati di disoccupazione strutturale. Ma l'innovazione genera realmente disoccupazione?

Disoccupazione tecnologica

Secondo la *teoria della compensazione* di Adam Smith, l'introduzione di una innovazione tecnologica in un dato settore, nel breve periodo, genera disoccupazione in tutta l'economia, anche in comparti differenti da quelli interessati dall'innovazione. Successivamente, però, la contrazione sarà compensata dall'espansione di altri settori, in cui si creeranno nuovi posti di lavoro, ampliamenti sufficienti a controbilanciare le perdite iniziali. L'innovazione tecnologica, nella prospettiva smithiana, struttura dunque un gioco a somma positiva che innalza le condizioni di produttività e di efficienza generale.

Il problema dell'impatto della tecnologia sul mercato del lavoro è affrontato anche da David

Ricardo a più riprese, e con conclusioni piuttosto incompatibili tra loro. In una prima fase, ritiene che l'introduzione di macchine in sostituzione del lavoro umano accresca la produttività e quindi i benefici per l'intera economia. Questa posizione sarà poi radicalmente rivista e corretta. Nella terza edizione dei *Principi di economia politica* (1821) l'economista inglese dedicò un intero capitolo alla problematica, sostenendo che i timori degli operai – relativi alla disoccupazione causata dalla meccanizzazione progressiva – non fossero del tutto infondati. Se l'introduzione di nuove macchine nei processi produttivi viene finanziata attraverso capitale circolante, effettivamente si produrrà disoccupazione, in quanto l'investimento in capitale fisso è operato sottraendo risorse al fondo-salari (dal quale dipende il numero di lavoratori che il sistema può mantenere). Il fondo-salari, riducendosi, genera disoccupazione.

Diverso è il caso di innovazioni finanziate attraverso il risparmio: non influenzando la dotazione del fondo-salari, non determina alcun effetto sui livelli occupazionali. Va comunque segnalato che Ricardo non tratta l'innovazione tecnologica in generale, ma semplicemente valuta gli effetti potenzialmente generati dall'introduzione di nuove macchine nel ciclo produttivo. Focalizza l'attenzione, dunque, su un segmento ben circostanziato dell'innovazione. L'impatto generato da altre forme di innovazione sul sistema economico risulta decisamente più complessa da valutare.

Del resto, come osservato da Schumpeter, lo stesso Ricardo successivamente cambiò nuovamente opinione circa gli effetti dell'innovazione tecnologica: « Ricardo era stato incline a condividere l'idea, molto diffusa in tutti i tempi, che l'introduzione delle macchine nel processo produttivo non sarebbe tornata a beneficio delle masse; quando, poi, giunse a dubitare di questa tesi o, comunque, della sua validità generale, con caratteristica franchezza rivede la posizione » (Schumpeter 2001, p. 34).

Il problema della sostituzione del lavoro umano con quello delle macchine è affrontato anche da Charles Babbage (1791-1871), professore di matematica a Cambridge e precursore dell'organizzazione tayloristica del lavoro. Secondo Babbage (1963), la riduzione dei costi di produzione è una conseguenza diretta della divisione del lavoro. Questa, implicando una frammentazione delle mansioni in attività sempre più elementari, consente un ampio ricorso a manodopera poco qualificata, e quindi poco retribuita, in luogo di lavoratori dotati di più ampie capacità tecniche e *know-how*. Tale processo è ulteriormente accentuato dall'uso estensivo di macchine nel processo produttivo, che consentono anch'esse di accentuare la divisione del lavoro e sostituire la manodopera. Questo *trend* genera una tendenza alla proletarizzazione della forza-lavoro, nella misura in cui il processo non risulta compensato da una contestuale espansione della quota dei lavoratori qualificati in altri segmenti del mercato del lavoro. Viceversa, la sostituzione di posti di lavoro a bassa specializzazione con mansioni a più elevata qualificazione accresce la ricchezza nazionale.

Babbage, pertanto, perviene a conclusioni molto simili a quelle smithiane circa la divisione del lavoro quale fattore propulsivo del benessere, e piuttosto distanti da quelle marxiane relative alla proletarizzazione della forza-lavoro. La riallocazione della manodopera su segmenti che richiedono maggiori competenze, per effetto della sostituzione del lavoro umano con quello delle macchine, tende ad accrescere il benessere della forza-lavoro, anziché ridurlo. Il pensiero classico, dunque, non perviene a conclusioni nette e univoche circa l'impatto dell'innovazione tecnologica sul mercato del lavoro. La questione resta tuttora ampiamente dibattuta.

Le tempeste schumpeteriane di distruzione-creatrice, nei paesi avanzati, continuano a determinare ampie oscillazioni nella domanda di lavoro, con forti perdite nei settori in declino compensate dalla domanda emergente nei settori *high-tech* in ascesa (Galor e Tsiddon 1997). Queste

trasformazioni comportano non solo l'aumento della disoccupazione nei settori in declino, ma anche vistose contrazioni del salario relativo dei lavoratori non specializzati rispetto a quello dei lavoratori più istruiti. Si parla, a tal proposito, di « *progresso tecnico distorto a favore della specializzazione*. Per definizione, esso favorisce le persone dotate di maggiore capitale umano » (Brynjolfsson e McAfee 2015, p. 147). L'evidenza empirica dimostra un crescente aumento delle diseguaglianze salariali tra i lavoratori specializzati e quelli meno qualificati (Imf 2007). L'innovazione tecnologica, potente determinante dello sviluppo economico, tende dunque ad accrescere i differenziali retributivi, generando momentanee rendite asimmetricamente distribuite sia a livello intersettoriale, sia a livello intrasettoriale.

Secondo studi recenti, per effetto delle traiettorie tecnologiche attuali il mercato del lavoro sta "perdendo" la classe media e si sta polarizzando (Autor *et al.* 2006; Autor 2010). Le nuove tecnologie alimentano la domanda di lavoro più qualificato mentre, collateralmente, riducono la domanda di lavoro per le qualificazioni intermedie. Storicamente, inoltre, un aumento della produzione ha sempre prodotto un significativo aumento dell'occupazione, in linea con la *Legge di Okun* (si veda il Par. 7.5). Dopo la crisi del 2008, diversamente, il Pil ha recuperato ma l'occupazione no.

Altri lavori pervengono a conclusioni ancora più pessimistiche circa l'impatto della rivoluzione tecnologica in atto sul mercato del lavoro, preannunciando la caduta dell'economia mondiale in una sorta di *grande stagnazione*. Questa tesi è espressamente enunciata da Tyler Cowen (1962-). Secondo Cowen, il tasso di crescita economica negli Stati Uniti, negli ultimi decenni, è diminuito per effetto di una riduzione del tasso di innovazione. Le tecnologie legate all'*Ict*, in particolare, non avrebbero avuto grossi effetti sugli standard vita media dei cittadini americani. Tra l'altro, anche da un punto di vista occupazionale, le aziende operanti nell'*Ict* presentano un indotto piuttosto limitato (Cowen 2011). Twitter ha appena trecento dipendenti (Cowen 2011, p. 39). Diversamente, nel periodo fordista i colossi industriali davano lavoro a centinaia di migliaia di dipendenti, garantendo un salario consistente anche a lavoratori con livelli di specializzazione medio-bassa.

Le aziende della *new economy*, invece, creano un'enorme ricchezza per pochi (Cowen 2011), alimentando così l'esplosione delle diseguaglianze sociali e delle sperequazioni nel mercato del lavoro. L'avvento del web, in altri termini, avrebbe smentito l'assunto secondo cui le innovazioni tecnologiche generano *in ogni caso* consistenti avanzamenti e intensi effetti di *spillover* in tutto il sistema economico (Cowen 2011, p. 38). Queste nuove tecnologie, diversamente, hanno creato pochi posti di lavoro in aziende dalle dimensioni tutto sommato ridotte, che però gestiscono un giro d'affari multimiliardario. Per uscire da questo circolo vizioso occorrerebbe, secondo Cowen, *più* innovazione. Anche Jeremy Rifkin (1945-) ritiene che le tecnologie attuali distruggano lavoro e inducano uno *spiazzamento tecnologico* che crea milioni di disoccupati (Rifkin 2005).

Altri due economisti del *Massachusetts Institute of Technology*, Erik Brynjolfsson (1962-) ed Andrew McAfee, diversamente da Cowen, ritengono che la domanda di lavoro ristagni a causa di tecnologie che distruggono più lavoro di quello che creano. È dunque un tasso di innovazione troppo elevato, e *non* troppo lento (come sostenuto da Cowen), la causa della stagnazione attuale (Brynjolfsson e McAfee 2015). Da tale scenario i rischi principali per i lavoratori delle economie avanzate derivano dall'automazione dei cicli produttivi (Brynjolfsson e McAfee 2015).

Le nuove fabbriche, completamente automatizzate, distruggono più lavoro delle delocalizzazioni. La peculiare traiettoria intrapresa dal processo di distruzione creatrice è tale da rendere negativo il bilancio tra nuovi posti di lavoro, creati dalle tecnologie nei settori in ascesa, e posti di lavoro distrutti nei settori maturi. A differenza delle rivoluzioni tecnologiche precedenti

(dalla macchina a vapore all'elettricità), le tecnologie informatiche – pur producendo effetti altrettanto radicali sulla struttura economica – non hanno indotto un'espansione della domanda di lavoro paragonabile a quella determinata dalle altre tempeste di distruzione creatrice (Fig. 5.5). L'effetto netto non implica solo una progressiva crescita dei livelli di disoccupazione strutturale (la quota di forza-lavoro che il mercato non riesce ad assorbire), ma anche una preoccupante estensione dei fenomeni di marginalità sociale. Le tecnologie produttive hanno raggiunto livelli di complessità tali da consentire di minimizzare gli interventi dei lavoratori, accrescendone a dismisura la produttività. In media un operaio americano produce annualmente beni per 180.000 \$, più del triplo rispetto ad appena trentacinque anni fa (Moretti 2014, p. 42). « Per l'economia in generale l'accresciuta produttività è un'ottima cosa, ma per le tute blu ha conseguenze negative. Pensiamo, per esempio, alla General Motors. Negli anni Cinquanta, gli anni d'oro di Detroit, ogni operaio dell'azienda produceva una media di sette auto l'anno. Oggi ne produce 29 l'anno. Il calcolo dei posti di lavoro persi è molto semplice: per fabbricare ogni auto oggi la General Motors impiega un numero di operai quattro volte inferiore a quello del 1950. È questo un altro dei curiosi paradossi della crescita economica: gli aumenti di produttività abbassano i prezzi del consumo e innalzano i salari, ma finiscono per cancellare posti di lavoro » (Moretti 2014, p. 42).

Le tecnologie che si profilano all'orizzonte appaiono potenzialmente in grado di produrre effetti più dirompenti delle tecnologie attuali, modificando la struttura del mercato del lavoro in misura ancora più radicale. Le stampanti 3D, ad esempio, consentono di produrre direttamente a casa merci personalizzate, minacciando, in prospettiva, l'esistenza di interi comparti manifatturieri. L'*Economist* (21/04/2012) ha parlato di *Terza Rivoluzione Industriale* per descrivere gli effetti che le trasformazioni indotte dalla digitalizzazione dei processi produttivi, dai robot e dalle stampanti 3D produrranno, nei prossimi decenni, nel settore industriale. L'impatto sul mondo del lavoro è inevitabile.

Tra l'altro l'automazione sta rapidamente avanzando anche nel comparto dei servizi. Treni automatici (già operativi in diverse linee metropolitane) e auto senza pilota (sperimentate con successo, tra l'altro, anche da Google), potrebbero rimpiazzare macchinisti e autisti. Insomma: l'intelligenza artificiale, in prospettiva, consentirà di sostituire il lavoro umano anche in settori (trasporti, servizi alla persona, consulenza) in cui la penetrazione dell'innovazione, fino a qualche anno fa, risultava piuttosto marginale (Brynjolfsson e McAfee 2015).

Tale *trend* riflette un'altra caratteristica propria dell'innovazione: la dinamica di crescita di tipo esponenziale che la connota. Come sottolinea Paul Romer, tra i principali esponenti della teoria della crescita endogena: « La crescita economica si concretizza ogni volta che la gente prende risorse e le risistema in modo da renderle più preziose. Ogni generazione ha percepito i limiti alla crescita che porrebbero le risorse limitate e gli effetti collaterali indesiderati se non si scoprissero nuove idee. E ogni generazione ha sottovalutato le potenzialità del reperimento di nuove idee. Insistiamo a non capire quante idee ci restano da scoprire. Le possibilità non si limitano a sommarsi, si moltiplicano » (cit. in Brynjolfsson e McAfee 2015, p. 87). Il problema non è solo rappresentato dal trend dell'innovazione, ma anche dall'uso della stessa. «Un serio motivo di preoccupazione risiede fuori del sistema produttivo propriamente detto, nel campo dell'economia politica o della politica *tout court*. Anche ammettendo che l'ingegnosità degli scienziati e dei tecnici continuerà a sfornare idee, capaci di sostenere quelle ormai superate e che essi scopriranno i modi di affrontare i deficit che si potranno formare (di generi alimentari, di risorse idriche o di materie prime industriali), nulla garantisce che gli uomini cui spetterà di utilizzare queste idee lo faranno in modo intelligente: in modo intelligente vale a dire non soltanto nel senso di uno sfruttamento efficace del

loro potenziale produttivo, ma anche nel senso più ampio di adottarle efficacemente all'ambiente naturale e umano, in modo da minimizzare gli sprechi, l'inquinamento, gli attriti sociali e gli altri costi esterni. Analogamente, nulla garantisce che fattori non economici esogeni – soprattutto, l'incompetenza dell'uomo a trattare con i propri simili – non ridurranno in polvere l'intera struttura » (Landes 2006b, pp. 7-8).