

L'innovazione tecnologica ha un posto essenziale nella cultura della modernità sia che essa marchi la dannazione dell'Occidente che la sua liberazione nel segno del mito di Prometeo. Essa appartiene alla conoscenza tacita che si acquisisce con l'esperienza diretta. Ad esempio fa parte dell'esperienza comune l'idea dell'importanza delle innovazioni tecnologiche nel cambiamento della vita di ogni giorno. Questo volume offre un'ampia descrizione del modo in cui filosofi, storici ed economisti osservano il fenomeno, interrogandosi innanzitutto su che cosa s'intenda per «innovazione tecnologica» e tracciando poi i profili di due grandi innovatori: Giulio Natta e Guglielmo Marconi. Una terza parte del libro si occupa dell'influenza e dell'impatto dell'innovazione tecnologica sulla famiglia fra metà Ottocento e primi del Novecento, per arrivare poi all'analisi del ruolo della tecnica nello sviluppo economico delle nazioni.

LABORATORIO DI STORIA

*Coordinato da Sergio Bertelli
con la partecipazione di*

*Alberto Baccini, Maria Teresa Beonio Brocchieri Fumagalli,
Franco Cardini, Monica Centanni, Pietro Clemente,
Giuliano Crifò, Luigi De Rosa, Giovanni Dosi, Ester Fano,
Vittorio Franchetti Pardo, Dario Gaggio, Renato Giannetti,
Anna Guagnini, Piero Innocenti, Mario Isnenghi,
William Lazonick, Mauro Lombardi, Joel Mokyr,
Mario Morroni, Michela Nacci, Ottavia Niccoli,
Enrico Pozzi, Rolf Petri, Carlo Poni, Mario Sbriccoli,
Giuliano Toraldo di Francia, Michelangelo Vasta*

10

QUADERNI DEL CASTELLO DI GARGONZA

NEL MITO DI PROMETEO

L'innovazione tecnologica
dalla Rivoluzione industriale ad oggi.
Temi, inventori e protagonisti
dall'Ottocento al Duemila.

a cura di Renato Giannetti

PONTE ALLE GRAZIE

Questo volume è pubblicato con il contributo del CNR



In copertina: G. Moreau, *Prometheus*, 1868, part., e sullo sfondo la fabbrica Breda.

© 1996 Ponte alle Grazie spa - Firenze
ISBN 88-7928-8531-0

Sommario

- APERTURA DEL PROBLEMA
Renato Giannetti
- 9 L'innovazione tecnologica. Il problema
- VERIFICHE
Michela Nacci
- 17 Conquista e dominio.
Forme di razionalità nella tecnica
Mario Morroni
- 49 Innovazione, tempo storico ed irreversibilità nella analisi
economica
Mauro Lombardi
- 73 Conoscenza e innovazione: una prospettiva cognitiva
Rolf Petri
- 100 Scienziati e tecnologia: Giulio Natta e la petrolchimica
Anna Guagnini
- 124 Guglielmo Marconi, inventore e organizzatore
Joel Mokyr
- 147 La tecnologia, l'informazione e le famiglie
Dario Gaggio
- 185 La costruzione politica di un fallimento tecnologico: gli
impianti siderurgici valdostani (1916-1930)
William Lazonick, Mary O'Sullivan
- 207 Formazione delle competenze e sviluppo economico
Giovanni Dosi
- 236 Ritardatari o convergenti: basta la tecnologia?
Michelangelo Vasta
- 260 Dal *Badalone a Windows*: la proprietà intellettuale e la tute-
la dell'innovazione
- AGGIORNAMENTI
Renato Giannetti
- 281 Le rappresentazioni dell'innovazione tecnologica in pro-
spettiva storica
- 299 I COLLABORATORI

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Basalla 1991
 G. Basalla, *L'evoluzione della tecnologia* (1988), Milano, Rizzoli.
 Heidegger 1968
 M. Heidegger, *L'epoca dell'immagine del mondo* (1938), in *Sentieri interrotti* (1950), Firenze, La Nuova Italia.
 Horkheimer, Adorno 1966
 M. Horkheimer, T.W. Adorno, *Dialettica dell'illuminismo* (1947), Torino, Einaudi.
 Hull 1988
 D.L. Hull, *Science as a Process. An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science*, Chicago, The University of Chicago Press.
 Latouche 1992
 S. Latouche, *L'occidentalizzazione del mondo. Saggio sul significato, la portata e i limiti dell'uniformazione planetaria* (1989), Torino, Bollati Boringhieri.
 Lyotard 1981
 J.-F. Lyotard, *La condizione postmoderna. Rapporto sul sapere* (1977), Milano, Feltrinelli.
 Lyotard 1987
 J.-F. Lyotard, *Il postmoderno spiegato ai bambini* (1986), Milano, Feltrinelli.
 Morin, Kernn 1994
 E. Morin, A.B. Kernn, *Terra-Patria* (1993), Milano, Cortina.
 Nef 1964
 J. Nef, *The Conquest of the Material World*, Chicago, The University of Chicago Press.
 Noble 1993
 D. Noble, *La questione tecnologica*, Torino, Bollati Boringhieri.
 Rosenberg, Birdzell 1991
 N. Rosenberg, L.E. Birdzell, *Come l'Occidente è diventato ricco* (1986), Bologna, Il Mulino.
 Vattimo 1985
 G. Vattimo, *La fine della modernità*, Milano, Garzanti.
 Vattimo 1989
 G. Vattimo, *La società trasparente*, Milano, Garzanti.
 Vattimo 1994
 in G. Bosetti, N. Bobbio, G. Vattimo, *La sinistra nell'era del Karaoke*, Roma, Donzelli.
 Veblen 1979
 T. Veblen, *La teoria della classe agiata: studio economico sulle istituzioni*, Torino, Einaudi.

Mario Morroni

Innovazione, tempo storico ed irreversibilità nella analisi economica*

Questo capitolo è dedicato all'analisi economica dell'attività innovativa. Il capitolo è diviso in due parti. La prima parte ha l'obiettivo di fornire una tassonomia che consenta di chiarire il significato dei principali concetti utilizzati. La seconda parte del capitolo è dedicata all'approfondimento di un aspetto importante dell'attività innovativa: la dipendenza dei mutamenti tecnici dal sentiero di sviluppo passato. La tesi fondamentale qui sostenuta è che lo studio dell'attività innovativa richiede che si tenga esplicitamente conto dell'irreversibilità del tempo storico, in quanto l'attività innovativa è indissolubilmente legata ai processi di apprendimento.

L'attività innovativa è il frutto della storia dell'impresa e dipende dalla particolare sequenza di scelte e dallo specifico modello di accumulazione della conoscenza e dell'esperienza. Questa catena di scelte, che forma il sentiero di sviluppo dell'impresa, è condizionata dalla dotazione di risorse e competenze, dalle opportunità tecnologiche, dai costi di transazione, dalla struttura dei diritti di proprietà, dalle condizioni istituzionali ed ambientali. Le imprese organizzano l'attività di apprendimento. Inoltre esse trasmettono nel tempo le conoscenze relativamente ai processi produttivi e alle reti transazionali, malgrado il *turn-over* degli addetti.

Il sentiero di sviluppo, di selezione e di adozione delle tecniche produttive si basa su aggiustamenti progressivi che risultano cumulativi, irreversibili e specifici a ogni unità produttiva. Questo processo di miglioramento è per lo più basato su una conoscenza non scritta degli strumenti di lavoro utilizzati e dei problemi da affrontare all'interno dell'unità produttiva. L'acquisizione di nuove conoscenze circa i processi rappresenta elementi di costo spesso "non recuperabili". La specificità delle singole unità produttive è legata ai diversi modelli organizzativi e tecnici adottati, alle diverse capacità di trasferire le

* Ringrazio Sandro Arrighetti e Mauro Lombardi per aver discusso una precedente versione di questo capitolo. La ricerca è stata finanziata con il contributo del CNR (9201912.CT10).

informazioni in “conoscenza concreta” e di adeguarsi all’evoluzione delle condizioni ambientali.

Non solo il mutamento tecnologico si svolge nel tempo, ma la dimensione temporale delle tecniche produttive via via adottate è una delle variabili influenzate direttamente dal cambiamento tecnologico. Per misurare gli effetti economici del cambiamento tecnologico è dunque necessario ricorrere a modelli d’analisi che permettano un allargamento del campo d’indagine dalla semplice relazione tra quantità fisiche degli input e degli output alla relazione più complessa i tempi e l’organizzazione della produzione. Nell’ultima parte del capitolo si porrà in luce l’utilità al riguardo del modello d’analisi fondi-flussi.

1. *Una tassonomia*

La letteratura economica sull’attività innovativa ha registrato negli ultimi quindici anni un enorme sviluppo. In questa prima parte del capitolo vengono presentate e discusse le definizioni di innovazione (radicale, incrementale), di tecnologia e di paradigma tecnologico, che risultano particolarmente importanti per lo svolgimento dell’analisi. Non si intende invece offrire una rassegna esaustiva delle diverse linee di ricerca (per la quale si rinvia il lettore ai recenti lavori di Freeman 1994; Hall 1994; Nelson 1995). In particolare, non si considereranno i recenti sviluppi della letteratura riguardanti: (a) la diffusione dell’innovazione (si veda, ad esempio, Patterns 1991, *The Economics* 1992, Antonelli 1995: cap.6); (b) il rapporto tra mutamento tecnico, teoria dei giochi e strutture di mercato (ad esempio: Baldwin, Scott 1987; *The Game-theoretic* 1989); e (c) il rapporto tra innovazione, dimensione di scala, struttura industriale, sviluppo economico e commercio internazionale (cfr. *The Economics* 1990; Foray, Freeman 1993; Alcorta 1994; Rothwell, Dodgson 1994).

Per innovazione s’intende l’introduzione di un nuovo processo, di un nuovo prodotto, di un nuovo mercato, di una nuova risorsa o di una nuova forma organizzativa. L’innovazione implica quindi anche un cambiamento nell’organizzazione delle imprese e dei mercati attraverso la progressiva sostituzione delle vecchie tecniche e capacità professionali con nuove tecniche e capacità. Questo processo, che si svolge nel tempo, è caratterizzato da una sorta di “lotta” tra il nuovo e il vecchio, e per questa ragione è stato definito di “distruzione creatrice”.

Non vi è alcun dubbio che l’attività innovativa sia la principale fonte dello sviluppo economico dei sistemi industriali. L’introduzione e diffusione delle innovazioni causano cambiamenti diseguali nel numero, nella qualità e nella composizione dei diversi elementi del sistema economico. Inoltre, quando le vecchie forme tendono a sopravvivere accanto alle nuove, si determina inevitabilmente un aumento della varietà del sistema economico (Metcalf 1987: 617; Saviotti 1991: 4). L’ampliamento della gamma dei prodotti disponibili e la variazione a diversa velocità dei settori trova origine nell’attività di apprendimento che hanno luogo nella produzione e nel consumo. Tale processo di mutamento della composizione dei diversi elementi del sistema economico è chiamato cambiamento strutturale o dinamica strutturale (si veda Pasinetti 1993: 21).

Schumpeter (1977: 110-3) distingue tra invenzione (una nuova idea), innovazione (l’applicazione commerciale) e la diffusione (tra le imprese e tra i consumatori). Nella letteratura economica il termine innovazione è però utilizzato spesso in senso lato per designare indistintamente questi tre diversi aspetti. Ciò è giustificato dal fatto che l’invenzione, l’innovazione e la diffusione sono sempre più interdipendenti in quanto un nuovo prodotto o processo è generalmente soggetto a ulteriori perfezionamenti durante la sua diffusione (si veda: Freeman 1987: 858; Baumol 1993: 115).

Le innovazioni incrementali (o minori) sono i piccoli e innumerevoli miglioramenti e modificazioni che avvengono più o meno continuamente in ogni industria. Nathan Rosenberg ha descritto con grande efficacia il ruolo svolto dalle innovazioni incrementali all’interno del lungo processo grazie al quale una nuova opportunità tecnica acquista rilevanza economica. Secondo Rosenberg un’innovazione assume significato economico solo mediante un profondo processo di riprogettazione e modificazione che comporti innumerevoli piccoli miglioramenti. Questi cambiamenti tecnici minori, connessi principalmente con i processi di *learning by doing* e *learning by using*, rappresentano una parte importante del cambiamento tecnico totale (Rosenberg 1987: 94-9, 108, 112).

Le innovazioni radicali hanno un carattere discontinuo. Esse non possono essere scomposte in passi infinitesimali. Per citare il famoso esempio di Schumpeter, una ferrovia non può in alcun modo emergere da miglioramenti incrementali nella produzione delle carrozze trainate da cavalli. Le innovazioni

radicali possono determinare il successo di nuove imprese, mentre le innovazioni incrementalmente tendono a consolidare la posizione delle imprese già esistenti. Le innovazioni radicali sono caratterizzate da un'accentuata pervasività avendo effetto su di un ampio ventaglio di attività. Come è noto, Schumpeter considerava innovazioni solo i cambiamenti radicali: «imporremo - egli scrive - una restrizione al nostro concetto di innovazione e d'ora in avanti per innovazione intenderemo *un cambiamento di primo ordine di qualche funzione di produzione*» (Schumpeter 1977: 121; cfr. Georgescu-Roegen 1994: 243). Da questo punto di vista la posizione di Rosenberg, circa il ruolo importante giocato dai cambiamenti incrementalmente, si distacca dall'analisi di Schumpeter, in cui si dà particolare enfasi alla natura discontinua del mutamento tecnico (Rosenberg 1987: 94-95).

Henderson e Clark (1990: 9ss) hanno messo in luce come alcune innovazioni cambino il modo in cui le componenti del prodotto sono legate insieme. Queste innovazioni, denominate innovazioni dell'architettura del prodotto, pur non richiedendo nuove conoscenze scientifiche o ingegneristiche, hanno rilevanti conseguenze sulla concorrenzialità dei prodotti (si pensi, ad esempio, alle conseguenze dell'introduzione delle radio transistor portatili o del personal computer portatili).

Anche se in taluni casi le innovazioni nell'architettura di un prodotto possono risultare del tutto indipendenti dalle innovazioni relative ai suoi componenti, spesso un'innovazione nell'architettura del prodotto può comportare modifiche nei componenti, così come un'innovazione di un componente può indurre un cambiamento nell'architettura del prodotto finale. Vigono relazioni di complementarità non solo tra architettura e componenti, ma anche tra i processi innovativi dei componenti stessi. Il miglioramento di un singolo componente può creare uno squilibrio con altri componenti, o beni, legati da relazioni di complementarità. Ciò può portare a un investimento di risorse per restaurare l'equilibrio; ad esempio, la progettazione dei motori di autovetture con prestazioni più elevate ha condotto al perfezionamento dei sistemi di frenata. (Rosenberg 1987: 126-7). Va anche osservato che il rapporto di complementarità tra invenzioni può svolgere un ruolo essenziale nel processo di diffusione di un'innovazione. Rosenberg (1994: 4) cita il caso della complementarità tra laser e fibre ottiche nelle telecomunicazioni: perché il laser potesse essere utilizzato nelle telecomunicazioni sono stati necessari

molte miglioramenti nella tecnologia delle fibre ottiche.

Mutamenti radicali comportano l'applicazione e la diffusione all'interno dei processi produttivi di nuove tecnologie. Il termine tecnologia è utilizzato con diverse accezioni. Nell'analisi microeconomica l'espressione indica l'insieme di tecniche disponibili in un dato momento. Nella letteratura sull'innovazione il termine tecnologia designa contemporaneamente: i) la conoscenza di base, considerata come insieme di conoscenze circa le tecniche in uso, dove per tecnica si intende una precisa organizzazione dei processi e combinazione degli input; ii) il prodotto, frutto delle tecniche in uso; iii) la capacità professionale di eseguire i processi corrispondenti.

L'espressione mutamento tecnologico è preferibile a quella più usata di progresso tecnologico, perché quest'ultima espressione implica che i cambiamenti nella tecnologia siano sempre benefici (cfr. Schumpeter 1977: 113; Heertje 1993: 276). Giudizi di valore riguardanti il mutamento tecnologico vanno al di là del terreno dell'analisi economica; ad esempio, non è possibile affermare, sulla base di considerazioni puramente economiche, che una nuova tecnologia, che consente la produzione di un nuovo bene o l'offerta di una nuova fonte di energia, rappresenti non solo un cambiamento, ma anche un progresso per l'umanità.

Ciascuna differente tecnologia implica ciò che è stato definito da Giovanni Dosi un paradigma tecnologico. Un paradigma tecnologico è un modello di soluzione di problemi tecnologici selezionati, basati su principi derivati dalle scienze naturali e dalle conoscenze tecnologiche di base. Un paradigma tecnologico definisce «i bisogni che devono essere soddisfatti, i principi scientifici utilizzati per ogni compito, la tecnologia materiale che deve essere impiegata» (Dosi 1982: 152, e 1988: 1127). Quindi, ogni paradigma tecnologico definisce anche una frontiera di sviluppo delle conoscenze e delle capacità professionali. Richard Nelson e Sidney Winter (1982: 258-9) citano l'avvento del DC-3 negli anni '30 come esempio di affermazione di un nuovo paradigma tecnologico (nella loro terminologia un regime tecnologico). Il DC-3 era caratterizzato da una fusoliera interamente di metallo, ali basse, linea aerodinamica e motori potenti. Per più di due decenni la produzione di aerei ha comportato una serie di miglioramenti incrementalmente che, in sostanza, consistevano nello sfruttamento di questa formula.

Mutamenti incrementalmente hanno luogo all'interno di un dato

paradigma tecnologico, mentre cambiamenti radicali implicano il passaggio a un nuovo paradigma. Un paradigma tecnologico definisce il processo di selezione delle innovazioni lungo una traiettoria tecnologica. Questi processi di selezione, definiti da un paradigma, sono taciti, specifici e cumulativi in quanto strettamente connessi ai fenomeni di apprendimento attraverso l'esperienza (Dosi 1988: 1128).

Franco Malerba e Luigi Orsenigo (1995: 48ss) hanno recentemente analizzato il legame tra i paradigmi (o regimi) tecnologici e i due principali modelli di attività innovativa. Il primo modello, chiamato Schumpeter *Mark I*, è caratterizzato dalla facilità di entrata di nuove imprese e dall'importanza dell'attività innovativa svolta da queste nuove imprese. Il secondo modello, denominato Schumpeter *Mark II*, è caratterizzato invece da rilevanti barriere all'entrata e dalla presenza consolidata di imprese di grandi dimensioni che hanno istituzionalizzato il processo innovativo mediante la creazione di laboratori di sviluppo e ricerca. Sulla base dei dati relativi a quattro paesi (Germania, Francia, Regno Unito e Italia) Malerba e Orsenigo rilevano che il primo modello di attività innovativa prevale nell'industria meccanica e nei settori tradizionali, mentre il secondo modello è presente nell'industria chimica e nelle industrie elettriche ed elettroniche. Dall'analisi emerge che i paradigmi tecnologici giocano un ruolo importante nel determinare lo sviluppo dell'attività innovativa nei singoli settori e che la specifica composizione dei settori in ciascun paese concorre a spiegare le differenze tra un paese e l'altro nei processi di generazione e sviluppo dell'attività innovativa.

La diversa diffusione delle nuove tecnologie all'interno dei singoli paesi è stata esaminata dalla letteratura sui sistemi nazionali di innovazione. Oltre alla particolare composizione dei settori industriali, le differenze tra paesi sono state spiegate sulla base delle differenze nella rete specifica di istituzioni che sostengono e promuovono la ricerca e lo sviluppo, nelle relazioni tra imprese, nei legami tra produttori e utilizzatori, nel sistema di incentivi, nelle condizioni di appropriabilità e nelle relazioni industriali (si veda Freeman 1994: 484; cf. McKelvey 1991: 117ss; Lundvall 1992: 2ss; Metcalfe 1995: 38ss).

Accanto alle specifiche diversità nei sistemi di innovazione emergono elementi di globalizzazione nella diffusione internazionale delle tecnologie. Daniele Archibugi e Jonathan Michie, (1995: 125) hanno individuato tre principali caratteristiche del processo di globalizzazione: i) lo sfruttamento globale del-

le tecnologie, cioè la crescente proporzione delle innovazioni tecnologiche che sono sfruttate nei mercati internazionali; ii) la collaborazione tecnologica globale, vale a dire il processo di collaborazione internazionale tra governi e istituzioni accademiche; iii) la generazione globale di tecnologia, che consiste nell'integrazione internazionale delle attività tecnologiche e di ricerca e sviluppo effettuate dalle imprese multinazionali.

Il problema se, e fino a che punto, il mutamento tecnico sia indotto dalla domanda (*demand pull*) o sia stimolato dallo sviluppo delle opportunità tecnologiche (*technology push*) è stato oggetto di un lungo dibattito. Alla luce della precedente concettualizzazione questa opposizione sembra avere scarso significato, perché la domanda e il cambiamento tecnico giocano entrambi un ruolo importante, sebbene in momenti diversi nel corso dello sviluppo di ciascun paradigma. Nelle fasi iniziali di sviluppo di un paradigma le opportunità tecnologiche tendono a prevalere; mentre durante la seconda fase la domanda diviene importante nello stimolare e orientare la serie di perfezionamenti e innovazioni minori. Il processo concorrenziale e le condizioni di appropriabilità spingono l'impresa a migliorare i metodi di produzione e i prodotti, cercando di saldare le opportunità tecnologiche con le possibilità che vengono offerte dall'evoluzione delle condizioni di mercato (Dosi 1988: 1141-2; Freeman 1994: 479- 80).

La letteratura ha posto in evidenza i problemi analitici che sorgono in presenza di asimmetrie informative, incertezza e di incompletezza contrattuale. L'innovazione comporta nuove conoscenze, ma il mercato della conoscenza è imperfetto perché «gli acquirenti potenziali di un'informazione non possono accertare esattamente il suo valore, in quanto rivelare l'informazione consiste nel consegnarla senza costo» (Dasgupta, David 1987: 520). Inoltre, l'attività innovativa è svolta spesso in condizioni di incertezza: «in un modo incerto [...] non esistono mercati futuri che permettano di stabilire prezzi che sostengano i costi marginali appropriati». Infine, l'innovazione genera asimmetrie informative: «la distribuzione ineguale di conoscenza che ne risulta crea molteplici problemi di *adverse selection* e *moral hazard* che a loro volta impediscono la possibilità che si verifichino processi di mercato Pareto-ottimali» (Metcalfe 1995: 26; cfr. Stiglitz 1991: 21-7).

Gli strumenti forniti dall'apparato microeconomico tradizionale appaiono poco adatti a trattare il fenomeno del cambiamento tecnologico, tanto che tutt'oggi non si può non con-

dividere la valutazione espressa da Dasgupta e Stiglitz (1980: 266) che «la teoria economica può dire veramente poco sul suo saggio di variazione o sulla sua direzione, che abbia un fondamento microeconomico ragionevolmente preciso». Le ragioni di queste difficoltà stanno nel fatto che l'analisi standard dell'equilibrio concorrenziale esclude dalla propria considerazione, o ha molta difficoltà a considerare, alcuni elementi essenziali all'analisi dell'attività innovativa come, ad esempio, la presenza di: esternalità, beni pubblici, incertezza, asimmetrie informative, incompletezza contrattuale, concorrenza non di prezzo, non-convessità, indivisibilità ed economie di scala, sequenzialità e irreversibilità delle scelte economiche. Nel prossimo paragrafo mi propongo di approfondire soprattutto quest'ultimo punto riguardante le caratteristiche di irreversibilità dell'attività innovativa.

2. Innovazione e dipendenza dal sentiero di sviluppo

Nelle pagine precedenti abbiamo visto che l'innovazione è conseguenza dei processi di apprendimento che hanno luogo nell'attività di produzione e di consumo. I processi di apprendimento richiedono, come è ovvio, tempo. Ogni cambiamento della tecnica di produzione è il frutto della storia delle unità produttive che l'adottano e dipende dalla sequenza precedente di scelte e dal modello specifico di accumulazione di conoscenza e di esperienza. Il mutamento tecnologico ha luogo nel tempo reale irreversibile (tempo storico o cronologico), nel quale diversi stati rappresentati da tecniche adottate successivamente non sono indipendenti ma sono legati da relazioni causali.

Il concetto di equilibrio economico considera l'aggiustamento e il coordinamento degli agenti economici rispetto ai vincoli, assumendo come dati i *fundamentals* espressi dalle preferenze e dalla tecnologia. In altre parole, l'analisi dell'equilibrio economico studia l'aggiustamento degli agenti escludendo, però, ogni modifica dei comportamenti legati alle preferenze e alla tecnologia. Ciò dipende dal fatto che il concetto stesso di equilibrio economico, per aver significato, richiede l'invarianza nella condotta degli agenti economici. Considerare l'aggiustamento, escludendo però le possibili modifiche nelle condotte degli agenti, significa eliminare dall'analisi l'apprendimento che è l'aspetto essenziale di ogni attività innovativa. Il puro aggiustamento, senza mutamento, è tipico del-

l'equilibrio tra cose. Il concetto di equilibrio economico è infatti mutuato dalla fisica meccanica classica. Come osserva Georgescu-Roegen (1982: 28-9), «poiché la fisica meccanica non riconosce cambiamenti qualitativi, ma solo cambiamenti di posizione, qualsiasi processo meccanico può essere invertito, proprio come quello del pendolo» (sul tema si veda anche: Hahn 1984: 24; Currie, Steedman 1990: 230; Dosi, Metcalfe 1991: 135; Faber, Proops 1991: 58-9; Witt 1991: 84; De Vecchi 1993: 165; Hodgson 1993: 21; Langlois 1995: 4,9-11)

Dosi (1990: 14), Amendola e Gaffard (1992: 268-71) hanno recentemente ripreso questo tema della dicotomia tra l'analisi in un dato istante dei fattori di coordinamento e allocazione, dati i *fundamentals* (preferenze e tecnologia), e l'analisi nel tempo della creazione di nuove risorse e del cambiamento dei *fundamentals* stessi. Questa distinzione pone inevitabilmente la domanda se è possibile separare i processi di aggiustamento e coordinamento, per dati *fundamentals*, da quelli di mutamento dei *fundamentals* stessi. Amendola (1990: 9) osserva in proposito che quando la rapidità con cui variano i *fundamentals* è uguale o maggiore della velocità di aggiustamento a questi ultimi da parte degli agenti economici, o quando il processo di aggiustamento contribuisce alla determinazione del punto finale di convergenza, le analisi dinamiche non possono essere più ridotte ad esercizi di statica comparata in base appunto alle ipotesi di esogeneità della determinazione dei *fundamentals*. Al riguardo, Pasinetti, constatando la forte variabilità della tecnologia e delle preferenze, pone in evidenza il paradosso insito nell'analisi microeconomica tradizionale di considerare esogenamente date le preferenze e la tecnologia, che sono invece estremamente variabili al trascorre del tempo, e variabili il saggio di profitto o il rapporto capitale/prodotto, che al contrario non manifestano alcuna tendenza a variare nel lungo periodo (Pasinetti 1993: 35).

I *fundamentals* tendono a mutare nel corso dei processi di aggiustamento perché le imprese non si limitano a variare le combinazioni degli input rispetto ai vincoli imposti, ma tendono contemporaneamente a mutare i vincoli stessi attraverso la creazione intenzionale di nuove opportunità mediante l'attuazione di programmi di ricerca e sviluppo. Questa attività innovativa è caratterizzata dall'interazione dei vari processi di apprendimento provenienti da fonti conoscitive diverse sia interne che esterne all'impresa (per un'analisi approfondita del rap-

porto tra i vari tipi di apprendimento e l'attività innovativa si veda Malerba 1992).

I processi di miglioramento e apprendimento legati all'attività innovativa sono basati su una conoscenza non scritta, tacita e localizzata. Questa conoscenza è fortemente selettiva nel senso che essa non comporta tanto un corpo generale di conoscenze, quanto l'effettiva capacità di eseguire un numero limitato di compiti. Questa conoscenza si esprime nella abilità di eseguire dei compiti in maniera efficiente (in relazione all'utilizzo ottimale delle risorse) ed efficace (in relazione al raggiungimento degli obiettivi). La formazione di queste capacità professionali si sviluppano all'interno dello stesso processo produttivo e innovativo.

Considerando l'attività produttiva, si possono distinguere tre diversi tipi di conoscenza: 1) la capacità di fare qualcosa, che si basa su una conoscenza pratica o abilità, spesso tacite; 2) la conoscenza astratta (o teorica) di un particolare modo di svolgere operazioni necessarie per eseguire un compito; 3) la conoscenza di dove trovare le informazioni riguardanti il modo di svolgere un compito. È nell'esperienza di tutti coloro che usano un computer constatare che vi è una grande differenza tra: essere a conoscenza di dove acquisire informazioni circa il funzionamento di un software, conoscere le caratteristiche di un software e, infine, essere in grado di utilizzare un software efficacemente. Quest'ultima capacità è il frutto di un faticoso processo di *learning by doing* e *by using* e non si identifica con la semplice conoscenza della sequenza di operazioni da svolgere, ma richiede l'acquisizione delle capacità di svolgere una catena di routine non direttamente deducibili dall'elenco di sequenze di operazioni (per una discussione sul ruolo della conoscenza nell'attività produttiva si veda: Egidi 1988 e 1989; Egidi, Marris 1992).

Il sentiero di sviluppo, selezione e adozione delle tecniche si forma attraverso aggiustamenti che hanno luogo giorno dopo giorno e che sono cumulativi, irreversibili e specifici rispetto alla singola unità produttiva. Nel sistema di fabbrica la tecnica utilizzata da un'impresa è infatti il frutto di un lungo processo di apprendimento concernente le capacità dei singoli membri dell'impresa e la stessa organizzazione che coordina le loro competenze e attività. L'insieme di conoscenze concrete e di capacità che un'impresa ha sviluppato nel tempo concorre a formare la sua identità e specificità. La specificità dell'impresa riguarda principalmente il modo in cui gli elementi della pro-

duzione sono organizzati e il modo in cui le conoscenze tecniche degli addetti sono utilizzate all'interno della definizione di particolari routine. L'apprendimento all'interno delle unità produttive comporta necessariamente capacità organizzative in quanto i processi di apprendimento sono un fenomeno intrinsecamente sociale e collettivo. Le imprese vengono dunque considerate come organizzazioni che coordinano i processi di apprendimento in presenza di possibilità, insite nelle strutture produttive, e di opportunità tecnologiche, offerte dalla ricerca di base e applicata, che sono ancora inesplorate (si veda al riguardo Chandler 1992: 86-7; *Understanding* 1994: 15; cfr. Bianchi M. 1994: 9,16-7,26; Langlois 1995: 8-9; Lazonick, O'Sullivan 1995: 1-3).

Le specificità delle singole unità produttive sono legate alle diverse forme organizzative, alle diverse abilità di trasformare le informazioni in conoscenza e, più in generale, alla varietà di risposte rispetto all'evoluzione delle condizioni ambientali che hanno determinato i rispettivi sentieri di sviluppo. Tutto ciò è una fonte di irreversibilità nel sentiero di sviluppo della singola impresa. Piccole differenze casuali nelle condizioni iniziali possono condizionare le decisioni future e determinare differenze che crescono cumulativamente (Metcalf 1989; Dosi, Metcalf 1991: 133-7). Il grado di irreversibilità delle scelte economiche dei processi produttivi influenza il livello di flessibilità strategica.

L'irreversibilità comporta che le azioni presenti possano determinare conseguenze sui risultati futuri. Un comportamento con caratteristiche di irreversibilità può sorgere a causa della presenza di costi di transazione, incompletezza dei mercati, contratti futuri, incertezza, informazione asimmetrica, specificazione incompleta dei contratti e possibilità di comportamento opportunistico. Giovanni Dosi e Stanley Metcalf (1991: 142-6, *passim*) hanno sostenuto che all'interno dello stato stazionario «l'irreversibilità è essenzialmente un sottoprodotto dell'informazione imperfetta e della sequenzialità dei processi di apprendimento relativi a un mondo che si assume come dato». Se però abbandoniamo l'ipotesi di stato stazionario, «l'irreversibilità non è il risultato solo dell'informazione imperfetta e della sequenzialità delle decisioni, ma è dovuta al fatto che il mondo cambia e che cambia come conseguenza proprio delle azioni degli agenti». «L'irreversibilità allora è un aspetto generale dell'apprendimento: l'azione cambia le basi delle future azioni.»

Paul David (1985: 332) ha messo in luce che una sequenza è *path-dependent* se eventi remoti nel tempo (inclusi eventi dominati da elementi fortuiti piuttosto che da forze sistematiche) esercitano un'influenza importante sui possibili risultati. Rendimenti crescenti, esternalità di rete, economie di standardizzazione, interdipendenza di scelta tra agenti e compatibilità tra tecnologie sono tutti fattori che implicano inevitabilmente un comportamento *path-dependent* (cfr. Dosi, Metcalfe 1991: 151-2). Tra tutti questi elementi, il caso dei rendimenti crescenti è stato il primo ad attrarre l'attenzione degli economisti. Già Marshall (1972: 622,1069) notò l'irreversibilità dei rendimenti crescenti e l'incompatibilità tra rendimenti crescenti e analisi statica di concorrenza perfetta (su questo punto si veda anche Sraffa 1981: 41-2; Arrow 1979). Se vi sono rendimenti crescenti di scala, lo sviluppo di una singola impresa implica che essa possa in breve dominare l'intero mercato, espellendo tutte le imprese concorrenti. In un recente articolo Arthur, (1989: 127-8) ha mostrato che con rendimenti crescenti di scala l'economia a poco a poco "si blocca" in un risultato che non è necessariamente superiore alle possibili alternative. In una tale situazione, circostanze iniziali insignificanti possono risultare amplificate: i piccoli eventi casuali della storia divengono così molto importanti per l'affermazione di una tecnologia, un prodotto o un'istituzione. Se prevale un comportamento *path-dependent*, non vi è un solo possibile equilibrio, ma possiamo avere una molteplicità di risultati. Inoltre, come si è visto, nulla può garantire che la fusione di necessità e caso, tipica dell'evoluzione *path-dependent*, conduca alla conseguenza ottimale. È famoso l'esempio della tastiera QWERTY, analizzato da Paul David (1985): l'interdipendenza e complementarità tra gli utenti - per cui l'incentivo ad adottare una data soluzione tecnica dipende dal numero di agenti che l'hanno già adottata - e il costo di riaddestramento del personale - conseguente all'eventuale modifica della disposizione dei tasti - hanno fatto sì che la tastiera QWERTY abbia continuato a dominare il mercato, sebbene fossero state introdotte successivamente tastiere che permettevano una maggior velocità di scrittura. Naturalmente, il fenomeno della *path-dependence* e della persistenza di soluzioni sub-ottimali non riguarda solo i prodotti e le tecnologie, ma anche le istituzioni (su questo punto si veda anche Hodgson 1993: 21-5; David 1994: 205ss.; Srepani 1995: 11-3).

Nicholas Georgescu-Roegen ha insistito nei suoi lavori sul-

la irreversibilità dell'attività produttiva, dedicando una particolare attenzione al fenomeno dell'entropia. L'entropia è l'indice della quantità di energia non disponibile in un dato sistema termodinamico in un certo istante. La legge dell'entropia, o seconda legge della termodinamica, afferma che in un sistema chiuso l'energia disponibile si trasforma continuamente in energia non disponibile finché scompare del tutto. L'entropia misura quindi la caduta del potenziale di energia di un sistema termodinamico, per cui un aumento nell'entropia significa una diminuzione dell'energia disponibile: un pezzo di carbone non può bruciare più volte. (Georgescu-Roegen 1982: 27ss., *passim*, cfr. Dragan, Demetrescu 1991: 121-5; Molesti 1993: 38ss.).

Georgescu-Roegen (1982: 30) osserva che anche «la materia è soggetta a una dissipazione irreversibile»: ogni processo produttivo consiste nella trasformazione di qualche elemento-flusso in altri elementi-flusso, per mezzo di alcuni agenti denominati elementi-fondo. Quindi «un cambiamento nel capitale e nel lavoro può solo diminuire la quantità di scarti della produzione di una merce, ma nessuno agente può creare il materiale che esso trasforma. Né il capitale può creare il materiale di cui è composto» (Georgescu-Roegen 1979: 98).

La legge dell'entropia mette in luce che ogni processo economico, come qualunque altro processo vitale, è irreversibile e di conseguenza *path-dependent*. Se ciò è vero, un processo economico non può essere spiegato in termini esclusivamente meccanici. Secondo Georgescu-Roegen (1973: 31-3) la comprensione della legge di entropia è assolutamente fondamentale per lo studio dell'economia dell'ambiente poiché costituisce la radice della scarsità economica del sistema biologico in cui viviamo.

Il modello fondi-flussi presentato da Georgescu-Roegen (1973) è utile non solo per mettere in luce la natura entropica dei processi produttivi, ma anche per studiare il profilo temporale della produzione e, quindi, il rapporto tra efficienza economica e organizzazione produttiva. Negli ultimi anni questo tema, che risale ad Adam Smith, ha registrato un notevole ritorno d'interesse tra gli economisti. Smith (1973: capp.1,2,3) ha messo in rilievo il nesso tra efficienza, organizzazione della produzione ed estensione del mercato. Smith ha spiegato come lo sviluppo della divisione del lavoro tra diverse mansioni, corrispondenti a fasi poste in successione lungo il processo produttivo all'interno di una impresa, crei la possibilità che le va-

rie fasi siano svolte da imprese specializzate e indipendenti all'interno dei mercati. La letteratura recente sulla teoria dell'impresa ha sottolineato che tale possibilità è naturalmente legata, oltre che alle caratteristiche della tecnologia, al livello dei costi di transazione tra le imprese che operano sul mercato (al riguardo si veda l'ampia rassegna contenuta in Silva 1991; cfr. Langlois 1995). Il problema economico della produzione e dell'organizzazione dei mercati è, dunque, di gran lunga più complesso della sola scelta della combinazione degli input utilizzati, perché riguarda il coordinamento dell'attività di apprendimento e di trasmissione delle conoscenze, la combinazione delle competenze, in base a un modello di divisione del lavoro e l'organizzazione dei processi produttivi all'interno e all'esterno dell'unità produttiva, tenendo conto dei costi di produzione e di transazione (Lazonick, O'Sullivan 1995: 3-6).

Per quanto concerne la combinazione dei processi, il grado di efficienza, in termini di produttività fisica, dipende ovviamente dal particolare modello organizzativo adottato. Ad esempio, è chiaro che per un dato numero di ore-uomo, la quantità prodotta può variare sensibilmente a seconda del tipo di organizzazione: a seconda se il processo sia in parallelo o in linea, integrato o scomposto in fasi poste in successione, con una maggiore o minore divisione del lavoro.

La rappresentazione dei tempi di impiego degli input - effettuata dal modello fondi-flussi - consente di analizzare il modo in cui gli input e i processi, indivisibili e complementari, si combinano al fine di ridurre al minimo i tempi morti, aumentando il grado di utilizzo dei fondi e riducendo, al contempo, la durata dei processi (si veda: Tani 1986; Bianchi P. 1992; Morroni 1992; Scazzieri 1993; Piacentini 1996).

Tale modello distingue tra fondi e flussi. I primi partecipano a più processi produttivi che si succedono nel tempo, come ad esempio in generale un tornio, un computer o un lavoratore. I flussi, invece, sono utilizzati in un solo processo, come una materia prima, o scaturiscono da un solo processo, come il prodotto finito. Un fondo partecipa quindi al processo produttivo mediante l'erogazione di un servizio (nel tempo), mentre un flusso di input o di output corrisponde sempre a una certa quantità di materiale, sostanza o energia, che entra nel processo o che ne esce, in un dato istante (Georgescu-Roegen 1982: 176ss.; cfr. 1994: 246-9).

L'indivisibilità di uno o più input comporta che in certi periodi gli input indivisibili possano rimanere inutilizzati o

possano operare al di sotto della loro capacità produttiva. Ad esempio, i fondi possono rimanere inattivi durante le pause del processo produttivo e sperimentare periodi d'ozio anche quando il processo è in funzione, a meno che non siano utilizzati in altri processi. Durante i periodi in cui un fondo entra attivamente nella produzione il grado di utilizzo della sua capacità produttiva può variare. La produttività e i costi sono, quindi, influenzati dal grado e dal tempo di utilizzo di ciascun fondo. L'organizzazione dei processi e le dimensioni dell'unità produttiva rispecchiano la convenienza a minimizzare i periodi d'ozio e la sottoutilizzazione della capacità produttiva dei diversi elementi fondo, mediante la sincronizzazione degli intervalli di utilizzo nei vari processi e il bilanciamento delle capacità produttive delle varie fasi. Una volta stabilita una scala che minimizza i tempi d'ozio per i vari elementi fondo, qualsiasi espansione della capacità produttiva deve avvenire, in base a salti discreti, vale a dire secondo multipli interi della scala che minimizza i tempi d'ozio. Dunque, la necessità di rendere compatibili le diverse capacità produttive di fondi indivisibili è un fattore che concorre a determinare la scala del processo produttivo e l'organizzazione dei mercati.

Il sistema di fabbrica rappresenta un tentativo di superare il problema della indivisibilità e complementarità delle attrezzature, in modo da ridurre al minimo i tempi d'ozio e raggiungere così la massima economia di tempo. Secondo Georgescu-Roegen (1981: 248-9) il sistema di fabbrica e la moneta sono due tra le più importanti invenzioni organizzative ed economiche dell'umanità. Il sistema di fabbrica può essere applicato anche a tecnologie primitive, ma diviene essenziale quando si impiegano tecniche caratterizzate da un largo utilizzo di capitale fisso, perché maggiore è il costo delle attrezzature, maggiore è la convenienza a ridurre i tempi d'ozio delle macchine.

L'indivisibilità e la complementarità degli input sono le caratteristiche fondamentali dei processi produttivi nei paesi industrializzati dove il sistema di fabbrica è il sistema produttivo prevalente. L'importanza di queste caratteristiche e la necessità di considerare alcuni aspetti del profilo temporale è stata di recente sostenuta anche da studiosi che non applicano lo schema fondi-flussi, come ad esempio Milgrom e Roberts (1990), i quali hanno presentato un modello che tiene conto delle complementarità e delle caratteristiche di indivisibilità e non-convessità dei processi (cfr. *Complementarities* 1991).

Va sottolineato che se si escludono dall'analisi le caratteri-

stiche di complementarità e indivisibilità degli input e dei processi, è preclusa la possibilità di analizzare l'organizzazione della produzione e dei mercati nei paesi industrializzati. È infatti un errore logico pensare che un sistema produttivo, caratterizzato da indivisibilità e complementarità, si comporti come se in tale sistema vigessero, al contrario, perfetta divisibilità e sostituibilità. Tale errore, insito nel ragionamento "come se", consiste, in altre parole, nel ritenere che i risultati raggiunti analizzando un sistema produttivo con caratteristiche di divisibilità e sostituibilità degli elementi della produzione possano portare a risultati generali validi anche nel caso di presenza di indivisibilità e complementarità. Al contrario, come ho argomentato estesamente altrove (Morrone 1992: cap.11 e 12), accade che ipotesi differenti sulle caratteristiche dei processi produttivi portino a risultati radicalmente diversi circa l'organizzazione delle imprese, la loro dimensione e quindi l'organizzazione dei mercati.

Dunque, se l'esclusione dall'analisi delle caratteristiche di complementarità e indivisibilità degli elementi della produzione rende impossibile lo studio dei processi produttivi eseguiti all'interno del sistema di fabbrica, tale esclusione precluderà ogni possibilità di esaminare e valutare le trasformazioni che tali processi produttivi subiscono per effetto di un'innovazione.

Molti autori appartenenti al filone d'analisi evoluzionistico e neoschumpeteriano hanno messo in luce l'importanza della dimensione temporale, della irreversibilità, dell'indivisibilità e della complementarità in contrapposizione con lo schema microeconomico tradizionale che tende ad escludere questi elementi dall'analisi. Tali autori hanno a più riprese posto in evidenza l'inadeguatezza degli strumenti dell'analisi microeconomica tradizionale a trattare il fenomeno dell'innovazione, senza però fornire o indicare una teoria della produzione in grado di superare queste difficoltà analitiche (si veda, ad esempio, Freeman 1994: 463-7, 473, 484; cfr. Nelson, Winter 1982: 24ss.; Dosi 1990: 13ss.; Rosenberg 1987: 87ss. 1994: 5-6, capp.1,3). Il modello fondi-flussi, coerentemente con le linee di ricerca neoschumpeteriane ed evoluzionistiche, consente di includere gli elementi di irreversibilità, indivisibilità e complementarità all'interno dell'analisi del profilo temporale dei processi produttivi. La rappresentazione analitica dei processi produttivi basata sul modello fondi-flussi appare in grado di accertare gli effetti del mutamento tecnico, sui tempi e sull'organiza-

zione della produzione, oltre naturalmente sulle quantità degli input e dell'output. Tale rappresentazione della produzione permette, mediante la matrice fondi-flussi, di analizzare i rapporti intercorrenti tra i vari stadi che compongono un processo elementare e di misurare il livello di utilizzo degli input in ciascun sottoprocesso (per un'esposizione dettagliata delle caratteristiche di questo strumento analitico si rinvia a Morrone 1992: 86-92),

Applicando il modello fondi-flussi è possibile misurare: i) il cambiamento tecnico risparmiatore di tempo, che comporta una riduzione del tempo totale del processo; ii) il cambiamento tecnico risparmiatore dei magazzini, che riduce la quantità di semilavorati nei magazzini (organizzativi); e iii) il cambiamento tecnico risparmiatore di input, che riduce la quantità di flussi o dei servizi di fondi utilizzati nel processo.

Considerare il profilo temporale della produzione permette di valutare non solo l'efficienza, ma anche l'efficacia di un processo produttivo, intesa come la capacità di soddisfare le esigenze espresse dai consumatori. Ad esempio, nei casi in cui il tempo di risposta sia un elemento importante nel definire la qualità del prodotto o permetta di seguire con maggiore tempestività l'evoluzione della domanda, una riduzione nella durata o nei tempi di risposta aumenta l'efficacia della produzione.

L'efficacia è influenzata anche dal grado di flessibilità produttiva. La flessibilità produttiva può essere intesa come capacità di variare sia le quantità dei singoli beni all'interno del *mix* di prodotti offerto, rendendo adattabili le singole linee di produzione, sia il *mix* stesso dei prodotti, acquisendo nuove conoscenze tecniche e abilità produttive (sul rapporto tra flessibilità produttiva e organizzazione si veda Carlsson 1989; Milgrom, Roberts 1990; Morrone 1991; Gambardella 1993).

Per quanto riguarda il primo tipo di flessibilità, che possiamo definire operativa, le possibilità di variare le quantità dei singoli beni all'interno del *mix* di prodotti offerto sono legate ai tempi di risettaggio (o riattrezzaggio) delle varie macchine e alla dimensione dei magazzini. Quest'ultima, a sua volta, è connessa alla quantità di tempo in cui gli elementi della produzione rimangono inutilizzati in magazzino. Pertanto, se si vogliono analizzare i costi della flessibilità operativa, rispetto al mutamento all'interno di un dato *mix* di prodotti, è necessario includere l'analisi del profilo temporale del processo produttivo.

Il secondo tipo di flessibilità, che possiamo chiamare strate-

gica, consiste nella capacità di variare il *mix* stesso dei prodotti ed è, quindi, direttamente connesso alla capacità innovativa. Cambiare il *mix* dei prodotti implica la riconversione degli impianti e il riaddestramento e riqualificazione dei lavoratori. Il successo dell'attività innovativa dipende dall'abilità dell'impresa di organizzare i processi di apprendimento rispetto all'evoluzione delle condizioni ambientali e alla necessità di ridurre i costi e aumentare la qualità dei prodotti. La capacità di innovare, necessaria per ottenere la flessibilità strategica, è strettamente legata al grado di irreversibilità delle scelte effettuate in precedenza. L'irreversibilità dipendente, a sua volta, dall'eventuale presenza di risorse specifiche e di investimenti non recuperabili.

È chiaro che il raggiungimento della flessibilità strategica comporta innovazioni che mutino oltre che le quantità degli input utilizzati e degli output prodotti anche l'organizzazione e il profilo temporale dei processi. Di conseguenza, solo uno schema che tenga conto dei vari aspetti quantitativi, organizzativi e temporali della produzione è in grado di analizzare compiutamente gli effetti economici dell'attività innovativa.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Alcorta 1994

L. Alcorta, *The impact of new technologies on scale in manufacturing industries: Issues and evidence*, "World Development", vol. 22, n.5.

Amendola 1990

M. Amendola ed., *Innovazione e progresso tecnico*, Bologna, Il Mulino.

Amendola, Gaffard 1992

M. Amendola, J.L. Gaffard, *Towards an 'out of equilibrium' theory of the firm*, "Metroeconomica", Vol. 43, n. 1-2, pp.267-288, "Comment" di F. Malerba.

Antonelli 1995

C. Antonelli, *Economia dell'innovazione*, Bari, Laterza.

Archibugi, Michie 1995

D. Archibugi, J. Michie, *The globalisation of technology: a new taxonomy*, "Cambridge Journal of Economics", 19, pp.121-140.

Arrow 1979

K.J. Arrow, "The division of labor in the economy, the polity, and society", in G.P. O'Driscoll ed., *Adam Smith and Modern Political Economy. Bicentennial Essays on the Wealth of Nations*, Ames, Iowa, The Iowa State University Press.

Arthur 1989

W.B. Arthur, *Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events*, "The Economic Journal", n. 99.

Baldwin, Scott 1987

W.L. Baldwin, J.T. Scott, *Market Structure and Technical Change*, Reading, Harwood Academic Publisher.

Baumol 1993

W.J. Baumol, *Entrepreneurship, Management, and the Structure of Payoff*, Cambridge, Mass, The MIT Press.

Bianchi M. 1994

M. Bianchi, *Markets and firms: transaction costs versus strategic innovation*, mimeo.

Bianchi P. 1992

P. Bianchi, "Oligopoly, the organization of production and strategic behavior", in M. Baldassarri (ed), *Oligopoly and Dynamic Competition*, London, Macmillan, SIPI.

Carlsson 1989

B. Carlsson, *Flexibility and the theory of the firm*, "International Journal of Industrial Organization", 7.

Chandler 1992

A.D. Chandler, *Organizational capabilities and the economic history of the industrial enterprise*, "Journal of Economic Perspectives", Vol. 6, n. 3.

Complementarities 1991

P. Milgrom, Y. Qian, J. Roberts, *Complementarities, momentum and the evolution of modern manufacturing*, "American Economic Review, Papers and Proceedings", 81, n.2.

Currie, Steedman 1990

M. Currie, I. Steedman, *Wrestling with Time*, Manchester, Manchester University Press.

Dasgupta, David 1987

P. Dasgupta, P. David, "Information disclosure and the economics of science and technology", in G. Feiwel ed., *Arrow and the Ascent of Modern Economic Theory*, Londra, Macmillan.

Dasgupta, Stiglitz 1980

P. Dasgupta, J. Stiglitz, *Industrial*

structure and the nature of innovation activity, "The Economic Journal", rist. in E. Mansfield, E. Mansfield eds., *The Economics of Technical Change*, Aldershot, Edward Elgar, 1993.

David 1985

P.A. David, *Clio and the Economics of QWERTY*, "American Economic Review, Papers and Proceedings", 75, p.332, rist. in E. Mansfield, E. Mansfield eds., *The Economics of Technical Change*, Aldershot, Edward Elgar, 1993.

David 1994

P.A. David, *Why are institutions the "carriers of history"?: the path dependence and the evolution of conventions, organizations and institutions*, "Structural Change and Economic Dynamics", Vol. 5, n. 2.

De Vecchi 1993

N. De Vecchi, *Schumpeter viennese. Imprenditori, istituzioni e riproduzione del capitale*, Torino, Bollati Boringhieri.

Dosi 1982

G. Dosi, *Technological paradigms and technological trajectories*, "Research Policy", n. 11.

Dosi 1988

G. Dosi, *Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation*, "Journal of Economic Literature".

Dosi 1990

G. Dosi, "Economia dell'innovazione ed evoluzione economica", in M. Amendola ed., *Innovazione e progresso tecnico*, Bologna, Il Mulino.

Dosi, Metcalfe 1991

G. Dosi, J.S. Metcalfe, "On some notions of irreversibility in

economics", in P.P. Saviotti, J.S. Metcalfe eds., *Evolutionary Theories of Economic and Technological Change*, Reading, Harwood Academic Publishers.

Dragan, Demetrescu 1991

J.C. Dragan, M.C. Demetrescu, *Entropy and Bioeconomics. The New Paradigm of Nicholas Georgescu-Roegen* (1986), Roma, Nargard.

Egidi 1988

M. Egidi, "The generation and diffusion of new routines", in F. Arcangeli, P. David, G. Dosi eds., *Frontiers of Innovation Diffusion*, Oxford, 1994, 3 voll., paper presentato alla Conferenza sulla Diffusione dell'innovazione tenutasi a Venezia il 17-22 marzo 1988, Oxford University Press, in corso di stampa.

Egidi 1989

M. Egidi, "L'impresa come organizzazione e la funzione di produzione: un binomio impossibile", in S. Zamagni ed., *Le teorie economiche della produzione*, Bologna, Il Mulino.

Egidi, Marris 1992

M. Egidi, R. Marris eds., *Economics, Bounded Rationality and the Cognitive Revolution*, Aldershot, Edward Elgar.

Faber, Proops 1991

M. Faber, J.L.R. Proops, "Evolution in Biology, Physics and Economics: A Conceptual Analysis", in P.P. Saviotti, J.S. 96 Metcalfe eds., *Evolutionary Theories of Economic and Technological Change*, Reading, Harwood Academic Publishers.

Foray, Freeman 1993

D. Foray, C. Freeman eds., *Technology and the Wealth of Nations*,

Londra, Pinter.

Freeman 1987

C. Freeman, "Innovation", in J. Eatwell, M. Milgate, P. Newman eds., *The New Palgrave: a Dictionary of Economics*, Londra, Macmillan.

Freeman 1994

C. Freeman, *The economics of technical change*, "Cambridge Journal of Economics", n. 18.

Gambardella 1993

A. Gambardella, *Flessibilità della tecnologia e flessibilità delle organizzazioni: beni sostituti o beni complementari?*, "Economia e Politica Industriale", n. 80.

Georgescu-Roegen 1973

N. Georgescu-Roegen, *Analisi economica e processo economico* (1966), Firenze, Sansoni, trad. parziale di M. Dardi di *Analytical Economics*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.

Georgescu-Roegen 1979

N. Georgescu-Roegen, "Comments on the papers by Daly and Stiglitz", in Smith V.K. ed., *Scarcity and Growth Reconsidered*, Baltimora, Johns Hopkins University Press.

Georgescu-Roegen 1981

N. Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process* (1971), Cambridge, Harvard University Press.

Georgescu-Roegen 1982

N. Georgescu-Roegen, *Energia e miti economici* (1976), Torino, Boringhieri, trad. it. parziale di P.L. Cecioni con Introduzione di S. Zamagni, *Energy and Economic Myths*, New York, Pergamon Press.

Georgescu-Roegen 1994

N. Georgescu-Roegen, "Time in

Economics", in H. Hagemann, O.F. Hamouda (eds), *The Legacy of Hicks. His Contributions to economic analysis*, London, Routledge.

Hahn 1984

F.H. Hahn, *Equilibrium and Macroeconomics*, Oxford, Blackwell.

Hall 1994

P. Hall, *Innovation, Economics and Evolution*, New York, Harvester Wheatsheaf.

Heertje 1993

A. Heertje, "Technical change and welfare economics", in J.C. Dragan, E.K. Seifert, M.C. Demetrescu eds., *Entropy and Bioeconomics. First International Conference of the E.A.B.S. Proceedings Rome 28-30 November 1991*, Milano, European Association for Bioeconomic Studies.

Henderson, Clark 1990

R. Henderson, K.B. Clark, *Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms*, "Administrative Sciences Quarterly", n. 35.

Hodgson 1993

G.M. Hodgson, *Economics and Evolution. Bringing Life Back into Economics*, Oxford, Polity Press.

Langlois 1995

R.N. Langlois, "Transaction costs, production costs and the passage of time", mimeo, annual meeting of the EARIE, settembre 1995, Juan-les-Pins, Francia.

Lazonick, O'Sullivan 1995

W. Lazonick, M. O'Sullivan, *Organization, Finance, and International Competition*, mimeo, annual meeting of the EARIE, set-

- tembre 1995, Juan-les-Pins, Francia.
- Lundvall 1992
B-A. Lundvall ed., *National Systems of Innovations*, Londra, Pinter.
- Malerba 1992
F. Malerba, *Learning by firms and incremental change*, "Economic Journal", Vol. 102.
- Malerba, Orsenigo 1995
F. Malerba, L. Orsenigo, *Schumpeterian patterns of innovation*, "Cambridge Journal of Economics", 19.
- Marshall 1972
A. Marshall, *Principi di Economia* (1890), UTET, Torino, trad. it. a cura di A. Campolongo di *Principles of Economics*, Londra, Macmillan, 8° ed. 1920.
- McElvey 1991
M. McElvey, "How do national systems of innovation differ", in G. Hodgson, E. Screpanti eds., *Rethinking Economics*, Aldershot, Edward Elgar.
- Metcalfe 1987
J.S. Metcalfe, "Technical change", in J. Eatwell, M. Milgate, P. Newman eds., *The New Palgrave: a Dictionary of Economics*, Londra, Macmillan.
- Metcalfe 1989
J.S. Metcalfe, "Evolution and economic change", in Silberston A. ed., *Technology and Economic Progress*, Londra, Macmillan.
- Metcalfe 1995
J.S. Metcalfe, *Technology systems and technology policy in an evolutionary framework*, "Cambridge Journal of Economics", n. 19.
- Milgrom, Roberts 1990
P. Milgrom, J. Roberts, *The economics of modern manufacturing: technology, strategy and organization*, "American Economic Review", 80, n.3.
- Molesti 1993
R. Molesti, "The scientific fundamentals of environmental economy: the work of Nicholas Georgescu-Roegen", in J.C. Dragan, E.K. Seifert, M.C. Demetrescu eds., *Entropy and Bioeconomics. First International Conference of the European Association for Bioeconomic Studies. Proceedings Rome 28-30 November 1991*, Milano, 38-47.
- Morrioni 1991
M. Morrioni, "Production flexibility", in G.M. Hodgson and E. Screpanti (eds), *Rethinking Economics*, Aldershot, Edward Elgar, trad. italiana "La flessibilità produttiva", *Politiche del Lavoro*, n. 17, 1992.
- Morrioni 1992
M. Morrioni, *Production Process and Technical Change*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Nelson 1995
R. Nelson, *Recent evolutionary theorizing about economic change*, "Journal of Economic Literature", XXXIII, pp.48-90.
- Nelson, Winter 1982
R.R. Nelson, S.G. Winter, *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, Mass, Harvard University Press.
- Pasinetti 1993
L.L. Pasinetti, *Dinamica economica strutturale. Un'indagine teorica sulle conseguenze economiche dell'apprendimento umano*, Bologna, Il Mulino, versione it. di *Structural Economic Dynamics. The Theory of the Economic Consequences of Human Learning*,

- Cambridge, Cambridge University Press.
- Patterns 1991
F. Arcangeli, G. Dosi, M. Moggi, *Patterns of diffusion of electronics technologies: an international comparison*, "Research Policy", Vol. 20, n. 6.
- Piacentini 1996
P. Piacentini, *A Time-explicit theory of production: analytical and operational suggestions following a "fund-flow" approach*, "Structural Change and Economic Dynamics", in corso di stampa.
- Rosenberg 1987
N. Rosenberg, *Le vie della tecnologia* (1976), Torino, Rosenberg & Sellier, trad. it. di G. Ferrara degli Uberti con "Introduzione" di S. Brusco e M. Russo di *Perspectives on Technology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Rosenberg 1994
N. Rosenberg, *Exploring the Black Box*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Rothwell, Dodgson 1994
R. Rothwell, M. Dodgson, "Innovation and Size of Firm", in M. Dodgson, R. Rothwell (eds), *The Handbook of Industrial Innovation*, Aldershot, Edward Elgar.
- Saviotti 1991
P.P. Saviotti, *Technological evolution, product characteristics, competition and variety*, mimeo.
- Scazzieri 1993
R. Scazzieri, *A Theory of Production. Tasks, Processes and Technical Practices*, Clarendon Press, Oxford.
- Schumpeter 1977
J.A. Schumpeter, *Il processo capitalistico: cicli economici*, Torino, Boringhieri, trad. di G. Ricoveri con "Introduzione" di A. Graziani di *Business Cycles* (1939), New York, McGraw-Hill (1964).
- Screpanti 1995
E. Screpanti, "Relative rationality, institutions and precautionary behaviour", in J. Groenewegen, C. Pitelis, S. Sjostrand (eds), *On the Theory of Institutions and Institutional Change*, Aldershot, Edward Elgar, mimeo.
- Silva 1991
F. Silva, "La dimensione dell'impresa: tecnologia, contratti, organizzazione", in S. Zamagni (ed), *Imprese e mercati*, Torino, UTET.
- Smith 1973
A. Smith, *Indagine sulla natura e le cause della ricchezza delle nazioni*, Milano, ISEDI, trad. it. di F. Bartoli, C. Camporesi, S. Caruso di *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations* (1776), Oxford, Clarendon Press.
- Sraffa 1981
P. Sraffa, *Sulle relazioni tra costo e quantità prodotta* (1925), in P. Sraffa, *Saggi*, Il Mulino, Bologna, 1986.
- Stiglitz 1991
J.E. Stiglitz, "The invisible hand and modern welfare economics", in D. Vines, A. Stevenson eds., *Information, Strategy and Public Policy*, Oxford, Blackwell.
- Tani 1986
P. Tani, *Analisi microeconomica della produzione*, Roma, La Nuova Italia Scientifica.
- The Economics 1990
G. Dosi, K. Pavitt, L. Soete, *The Economics of Technical Change and International Trade*, Brighton, Wheatsheaf.

The Economics 1992
 C. Antonelli, P. Petit, G. Tahar, *The Economics of Industrial Modernization*, Londra, "Foreword" di C. Freeman, Academic Press.
The game-theoretic 1989
 J. Beath, Y. Katsoulacos, D. Ulph, *The game-theoretic analysis of innovation: A survey*, "Bulletin of Economic Research", n.3, pp.163-84.
Understanding 1994

D.J. Teece, R. Rumelt, G. Dosi, S. Winter, *Understanding corporate coherence: Theory and evidence*, "Journal of Economic Behavior & Organization", vol. 23, n.1.
 Witt 1991
 U. Witt, "Reflections on the present state of evolutionary economic theory", in G. Hodgson, E. Screpanti eds., *Rethinking Economics*, Aldershot, Edward Elgar.

Mauro Lombardi

Conoscenza ed innovazione: una prospettiva cognitiva

1. *Gli agenti economici: dalla razionalità sostanziale alla razionalità procedurale*

La teoria economica è stata per molti decenni incentrata sull'assunzione di perfetta razionalità degli agenti, le cui decisioni erano il risultato di processi di elaborazione delle informazioni in condizioni di completezza cognitiva e di assenza di limiti computazionali. Si tratta del modello di razionalità che Simon (1984, 1988) ha definito *sostanziale*.

La completezza cognitiva implica che i soggetti hanno una conoscenza completa degli *stati del mondo* inerenti al contesto decisionale: posseggono una *lista completa degli stati* e sono in grado di definirne le probabilità di accadimento.

Attraverso un lungo e complesso itinerario di ricerca, che va dall'economia all'intelligenza artificiale, H. Simon (1976) ha messo in luce come i contesti effettivi siano invece caratterizzati da *incompletezza cognitiva*, dovuta all'esistenza di un *gap* tra l'ambiente della decisione e le capacità percettive del decisore, dotato di limitate capacità di calcolo. Quando non esiste un insieme predefinito di alternative conoscibili, le decisioni degli agenti devono essere improntate a *razionalità procedurale*, cioè a regole in grado di orientare la raccolta e l'elaborazione delle informazioni, sulle quali basare sequenze di azioni. Posti di fronte a *problemi da risolvere*, dei quali non si conosce la soluzione, la razionalità in senso procedurale comporta processi di ricerca selettiva entro insiemi di alternative di enorme estensione potenziale, perché possono essere continuamente escogitate nella stessa attività di ricerca. In tale eventualità l'esplorazione esaustiva dello spazio per la risoluzione di un problema può andare incontro ad una *esplosione combinatoriale* degli itinerari di analisi.

In situazioni di *problem solving* la razionalità perfetta e deduttiva non è applicabile, dal momento che richiede problemi *ben strutturati* dal punto di vista cognitivo, cioè problemi ed obiettivi ben definiti. Sia queste situazioni, sia quelle caratterizzate da interazioni continue tra i soggetti («un mondo di credenze soggettive e di credenze soggettive relative a credenze