

1. Economia dell'innovazione ed evoluzione economica

di Giovanni Dosi

1. Introduzione

Questo lavoro è una introduzione a vari aspetti ed implicazioni dell'economia del progresso tecnico. Più in generale, è anche un esame dell'importanza dell'analisi dei processi innovativi per la comprensione di alcuni elementi fondamentali della dinamica economica.

Nell'argomentazione che segue arguirò esplicitamente a favore di un particolare approccio a tale analisi, che definirò «evolutivo», e tenterò di mostrarne la fecondità interpretativa, illustrandone alcuni campi di applicazione.

L'importanza del progresso tecnologico sia a livello macroeconomico – ad esempio, in relazione alla crescita del reddito e dell'efficienza nell'uso degli inputs produttivi –, sia a livello micro – come fattore di competitività –, mi pare assolutamente ovvia. Per questa premessa intuitiva non credo che sia necessario ricorrere alla disciplina economica. Ed, in ogni caso, se richiesto, interi scaffali di biblioteca di letteratura storica e di economia industriale e d'impresa possono essere invocati. La questione affatto non banale riguarda invece l'analisi dell'*interazione* progresso tecnologico e processi economici.

A livello molto generale, la questione concerne *a)* le procedure, determinanti ed effetti della generazione e diffusione delle innovazioni, e, *b)* le modalità con cui tale generazione/diffusione influenza gli incentivi, l'informazione, i comportamenti degli agenti economici ed, in ultima istanza, le loro performances collettive. In effetti questi due insieme di problemi sono abbastanza isomorfici a quelle che ritengo essere due domande fondamentali che l'analisi economica si è posta fin dalle sue origini. Primo, *quali sono i fattori di cambiamento del sistema economico?* Secondo, *quali sono i fattori di coordinamento* che, per così dire, «tengono il mondo economico insieme?».

Per allusioni assolutamente impressioniste, alla prima domanda pertengono congetture teoriche quali «la produttività aumenta con la divisione del mercato e la divisione del lavoro è limitata dall'estensione del mercato» di A. Smith; le ipotesi pessimistiche di Ricardo sui rendimenti decrescenti nell'uso della terra; le «leggi di movimento» di Marx; le analisi della microeconomia del processo innovativo di Schumpeter e pure le sue congetture sulle «onde lunghe», ecc. Alla

seconda domanda, pertengono la congettura smithiana sulla «Mano Invisibile» che attraverso il meccanismo concorrenziale trasforma i «vizi privati» dell'interesse in pubbliche virtù; le analisi di Ricardo e Marx su valori, prezzi e distribuzione del reddito; Walras e l'Equilibrio Economico Generale contemporaneo; buona parte dei modelli teorici di interazione oligopolistica, *in primis*, i modelli di teoria dei giochi, ecc.

Vorrei introdurre le proposizioni che seguono ricordando come buona parte dell'analisi economica assume, implicitamente o esplicitamente, che, almeno in prima approssimazione, sia possibile fornire *risposte separate* alle due domande. Ciò implica in effetti l'ipotesi teorica generale di separabilità tra i fattori, *lato sensu*, «del cambiamento» e i «fattori del coordinamento».

Faccio alcuni esempi. Si consideri il metodo standard di analisi microeconomica, dall'Equilibrio Generale ai giochi oligopolistici (fino a molte analisi di ispirazione ricardiano/marxiana). Malgrado ovvie e importanti differenze che è inutile ricordare, una assunzione implicita comune è l'invarianza, nei fenomeni economici considerati, dei cosiddetti *fundamentals* (preferenze e tecnologie). Ovviamente, nessun teorico rispettabile può pensare che i *fundamentals* siano nella realtà costanti e pertanto tali modelli invocano la separazione dell'ambito d'analisi del «coordinamento» da quello del cambiamento quale semplice artificio teorico. Una tale assunzione, all'apparenza innocente, in effetti implica almeno tre altre ipotesi che, quando esplicitate, sono molto più problematiche.

Primo, affinché il modello abbia una rilevanza interpretativa, è necessario supporre che la *velocità di mutamento* dei *fundamentals* sia sistematicamente più bassa della *velocità di aggiustamento* degli agenti per *dati fundamentals*. È facile vedere il problema quando la condizione non è soddisfatta: se, per esempio, tecnologia e preferenze cambiano molto rapidamente, è difficile postulare che una data distribuzione tecnologie/preferenze possa determinare l'attrattore di un processo di aggiustamento degli agenti economici.

Secondo, è necessario supporre che il processo di aggiustamento sia irrilevante nella determinazione del punto finale di convergenza, o, come minimo, che la teoria possa dire qualcosa sui possibili stati del mondo indipendentemente da una considerazione esplicita delle condizioni iniziali e dalla natura dell'aggiustamento stesso, dalla natura degli agenti, ecc.

Terzo, occorre supporre che l'aggiustamento per *dati fundamentals* non sia dinamicamente accoppiato al mutamento dei *fundamentals* stessi. In effetti, se così non fosse, sarebbe inevitabile abbandonare l'ipotesi di separabilità tra «coordinamento» e «cambiamento».

Ad esempio, rendimenti crescenti ed effetti dinamici di apprendimento violano tali ipotesi di separabilità: gli agenti devono coordinarsi su un bersaglio mobile, e la mobilità del bersaglio è endogena al comportamento degli agenti stessi.

Un esempio in qualche modo archetipico di metodologie che assumono che tali ipotesi siano soddisfatte è il cosiddetto «principio di corrispondenza» di Samuelson. Analisi dinamiche, si suppone, possono essere ridotte ad esercizi di statica comparata proprio per le ipotesi sottostanti di irrilevanza dei processi di aggiustamento – in termini di proprietà di equilibrio del sistema – e di esogenità della dinamica dei *fundamentals*. (C'è qualche eco di tutto ciò anche in Schumpeter stesso quando separa un «flusso circolare», di equilibrio, suppostoamente walrasiano, ed il disequilibrio innovativo.)

Un altro esempio sono i modelli macroeconomici della cosiddetta «Nuova Economia Classica» nei quali viene assunta una versione estrema della prima e terza ipotesi di cui sopra: aggiustamento pressoché istantaneo ed esogenità della dinamica dei *fundamentals* (ci sono eccezioni in alcuni modelli recenti rispetto all'ipotesi 3 – ne discuterò più avanti – ma, per anticipare, mi sembra che spingano solo tale assunzione ad un livello più alto). Infine, un esempio classico sono gli esercizi di *growth accounting* basati sulla stima di funzioni di produzione con le note proprietà tra cui quella, appunto di presumere la possibilità di netta separazione tra fattori più o meno economici di crescita ed un «residuo» (il progresso tecnico).

Bene, in questo saggio argomenterò, primo, che le analisi teoriche ed empiriche dei processi innovativi alimentano, a mio modo di vedere, un profondo scetticismo su tali ipotesi di separabilità (anche quelle implicite in molti modelli contemporanei, enormemente più sofisticati di quanto abbozzato qui), e, secondo, che ciò ha implicazioni fondamentali per la teoria economica generale. Più specificatamente, suggerirò che economie che continuamente innovano nei prodotti, nei processi produttivi, negli assetti organizzativi, presentano processi di coordinamento inseparabili dai processi di mutamento. A livello teorico, la mia opinione è che tale inseparabilità è formalizzabile in modelli in senso lato «evolutivi»/«sequenziali»/«di autorganizzazione». Con ciò, per anticipare una discussione più dettagliata nel paragrafo 2 che segue, intendo una classe di modelli nei quali a) c'è una esplicita dinamica temporale dei comportamenti e delle interazioni tra gli agenti; b) è permesso a questi ultimi di «esplorare» e fare anche continuamente errori; c) se c'è qualche tipo di ordine a livello aggregato, esso deve essere consistente con comportamenti microeconomici di disequilibrio. Farò poi alcuni esempi riguardanti le implicazioni di tale analisi dei processi innovativi (paragrafo 3) rispetto alla teoria della

produzione, all'economia industriale, al commercio internazionale, all'economia dell'ambiente.

2. Opportunità e processi innovativi: «fatti stilizzati» ed implicazioni teoriche

Mi si consenta di iniziare menzionando alcuni «fatti stilizzati» molto semplici e molto importanti (altrove, in Dosi [1988], discuto in dettaglio della natura dei processi innovativi in generale).

Si noti innanzitutto come una buona parte delle innovazioni utilizzate economicamente sono generate, nelle economie miste contemporanee, dalle imprese stesse, sia nei loro laboratori di Ricerca e Sviluppo, sia, più informalmente, negli uffici di progettazione, nell'interazione con i loro clienti e fornitori, nei reparti di produzione, ecc. In altre parole, indipendentemente da come gli economisti lo rappresentano, il progresso tecnico è per buona parte *endogeno* alla normale attività delle imprese contemporanee.

Inoltre, non c'è bisogno di essere un economista per sapere che le attività di innovazione e/o di adozione delle innovazioni prodotte da altre imprese – nella forma di nuovi prodotti, nuovi processi e inputs produttivi, nuovi modi di organizzazione – sono elementi fondamentali della competitività delle imprese. Nella realtà, probabilmente nessuna impresa potrebbe sopravvivere senza innovare in qualche maniera. Ciò nonostante, anche se quasi tutte tentano innovare e imitare, i gradi di successo non sono omogenei: l'evidenza sui differenziali di costo e di profitto tra imprese all'interno degli stessi mercati le continue variazioni delle quote relative di mercato; le bancarotte; le nascite di nuove imprese vogliono dire proprio questo.

In effetti una letteratura, rapidamente crescente negli ultimi trenta anni, riguardante l'analisi economica e tecnologica dei processi innovativi è andata ben al di là di queste semplici considerazioni. Credo che sia abbastanza comune tra i protagonisti (economisti e non) di questo sforzo interpretativo la convinzione che oggi ne sappiamo parecchio di più, a confronto ad esempio di quando il National Bureau of Economic Research organizzò nel 1959 la conferenza su *The Rate and Direction of Innovative Activities* [vedi NBER 1962]. Parafrasando Richard Nelson, questa maggiore conoscenza riguarda l'anatomia ed il funzionamento di quel complesso sistema innovativo che è il capitalismo contemporaneo. Più in dettaglio, essa concerne le differenziate fonti di opportunità innovative; gli incentivi e gli ostacoli che spingono/vincolano agenti motivati dall'interesse economico ad innovare; le procedure della ricerca, sviluppo, imitazione; la natura dei processi di diffusione delle innovazioni stesse; gli effetti microeconomici sull'organizzazione delle imprese e la struttura delle industrie; l'interpreta-

zione teorica di questi processi; le differenze intersettoriali nei processi innovativi e la loro interpretazione¹.

Certo, è indubbio che si è ancora solo agli inizi di un grosso sforzo di ricerca, con approcci e, anche interpretazione dei risultati, diversi tra i vari ricercatori. Ma c'è pure un senso diffuso di progresso analitico.

Per le note che seguono, comunque, non mi sarà necessario entrare nel dettaglio di questi sviluppi. Per ora, per illustrare l'argomento, bastano semplicissimi «fatti stilizzati» ricordati all'inizio di questo lavoro. Si noti: se le imprese continuamente innovano, sperimentano, imitano, ciò implica che esiste sempre una *opportunità virtuale*, in senso lato, di «fare meglio», ed inoltre che le imprese a ragione o a torto (come rivelato *ex post*), credono di essere in grado di sfruttare tali opportunità. Come lo interpretiamo teoricamente?

Una maniera di interpretare il progresso tecnico, vicina allo spirito di buona parte della modellistica contemporanea, è, come già menzionato, quella di assumere che le opportunità derivino da fattori esogeni (ad esempio, il progresso scientifico generato in istituzioni extra-economiche quali le università), con un andamento approssimativamente deterministico (come implicito nei modelli di *growth accounting*) oppure con una esplicita componente stocastica (come nei modelli di *real business cycle*). In una accezione estrema, l'ipotesi di «separabilità» discussa nell'introduzione afferma che gli agenti si aggiustano in tempi molto brevi agli *shocks* sulle opportunità in modo tale da sfruttarle pressoché ottimalmente. È la versione più forte delle analisi fondate su equilibrio e razionalità microeconomica. Se tale approccio avesse corroborazione empirica, ovviamente, ciò implicherebbe anche che davvero non ci sono «*free lunches*» come dice Milton Friedman.

Ma l'ovvietà dei fenomeni ricordati sopra contraddice, anche a un primo sguardo, tali ipotesi. L'endogenità dei processi innovativi implica che le imprese «creano» opportunità o quanto meno ne scoprono continuamente. Cioè: ci potrebbero essere continuamente «*better lunches*» (a meno di supporre molto bizantinamente che la dinamica innovativa degli ingegneri, ricercatori, progettisti di ciascuna impresa sia totalmente esogena al resto delle decisioni che l'impresa prende). È vero che alcuni modelli recenti di crescita di equilibrio [cfr. ad esempio Romer 1986] incorporano rendimenti crescenti nell'«informazione», ma pur sempre le condizioni di generazione dell'informazione stessa sono quelle (esogene) standard. Come si diceva prima, mi sembra che tali modelli spingano semplicemente i problemi discus-

¹ Su tutti questi argomenti, cfr., tra gli altri, Rosenberg [1976; 1982], Freeman [1982], Nelson [1988], David [1975], Dosi [1988] e la bibliografia ivi citata.

si qui ad un livello più alto: quello dello sfruttamento ottimo delle opportunità di generazione dell'«informazione» tecnologica. Inoltre, l'evidenza sulle permanenti asimmetrie tra le imprese in termini di efficienza, innovatività, profitti ecc., contraddice palesemente ogni ipotesi microeconomica di equilibrio. Cioè: anche ammettendo, per assurdo, che la dinamica delle «opportunità» fosse essenzialmente esogena e che qualche agente potesse aggiustarsi ottimalmente su queste opportunità, rimarrebbe vero che per la maggior parte degli agenti permanerebbero opportunità non-sfruttate («better lunches»).

Un'altra classe di interpretazioni (non dovrebbe essere necessario enfatizzarlo: sto semplificando drasticamente) concede che possa esistere un divario permanente tra *performances* effettive ed opportunità virtuali dovuto alle permanenti *imperfezioni* ed *asimmetrie informative* degli agenti. Pertanto, ciascun agente continua a tentare di fare «il migliore uso dell'informazione che possiede» (generalmente modellato come equivalente ad un esercizio di ottimizzazione), ma l'imperfezione/asimmetria dell'informazione stessa implica una qualche dinamica *endogena* dell'innovazione ed anche, in linea di principio, asimmetrie di performance tra gli agenti (al presente, non ancora rappresentate formalmente). Una eccellente illustrazione di tale approccio interpretativo sono molti lavori di Joseph Stiglitz. In prima istanza, tale approccio appare anche compatibile con i «fatti» di cui sopra.

Ma è proprio compatibile? Dopo tutto, la dinamica delle opportunità *virtuali* è pur sempre rappresentata come esogena ed inoltre qualsiasi modello con informazione imperfetta deve plausibilmente ipotizzare, per mantenere una rilevanza interpretativa, che la dimensionalità dell'«imperfezione» non sia di molto superiore alla dimensionalità dell'informazione (altrimenti sarebbe come modellare l'apprendimento di uno scimpanzé come una «imperfezione informativa» su quello di Einstein!). Infine, data una certa imperfezione informativa e dati i problemi di *incentive-compatibility* ad essa associati (di incompleta specificazione dei contratti, «rischio morale», «selezione avversa», ecc.), la microeconomia del comportamento pur sempre difficilmente ammette «free lunches». Ciascun agente tende ad approssimare (imperfettamente) l'ottimo utilizzo delle opportunità, ad esempio attraverso un processo di apprendimento bayesiano. Non raggiunge certo le *performances* che l'agente con «aspettative razionali pure», senza asimmetrie informative, ecc., raggiungerebbe, ma si comporta, ciò nondimeno, in maniera analoga ad esso, dati i suoi vincoli.

È una metodologia adeguata alla rappresentazione di ambienti innovativi?

Premetto che considero la cosiddetta «economics of information» una delle aree più feconde dell'analisi economica. E ritengo anche che in tale prospettiva, siano stati raggiunti importanti risultati.

Detto questo, suggerisco però che tale interpretazione trascura alcune caratteristiche fondamentali di economie permanentemente innovative che ne mutano radicalmente le proprietà, sia dinamiche che di coordinamento.

Suggerirò qui, in modo molto succinto, gli elementi essenziali di una interpretazione significativamente diversa e, a mio avviso, direttamente compatibile con l'evidenza empirica sui processi innovativi. (Radicalizzerò di proposito l'esposizione per enfatizzarne alcune implicazioni.) Gli elementi essenziali sono i seguenti.

Primo, gli agenti *non* sono funzionalmente vincolati, in ultima istanza, da un qualche «stato di natura» e/o dalle loro informazioni su di esso ma, in primo luogo, dalle loro *competenze*, le quali derivano dalla loro storia di apprendimento, le loro interazioni con gli altri agenti, il contesto in cui operano, ecc. Detto in un'altra maniera, ad ogni istante le opportunità virtuali *presentano una dimensionalità enormemente più ampia del loro grado di sfruttamento economico*. Ci sono sempre (*semi*)*free lunches* potenziali. Il vincolo al loro sfruttamento non deriva dalla «natura del mondo» (che nei modelli economici appare negli «insiemi di possibilità di produzione», nelle matrici di *pay-off* delle interazioni strategiche, ecc.) ma dalle *capacità* degli agenti stessi. Ad esempio, l'introduzione di un nuovo calcolatore, una nuova macchina utensile, una nuova tecnica di marketing, rappresentano ovviamente lo sfruttamento di una opportunità che esisteva già da un certo tempo. Perché allora gli agenti non l'hanno sfruttata prima? Per la buona ragione che non ne erano capaci o addirittura non l'avevano nemmeno percepita come una opportunità.

Secondo, i processi di apprendimento degli agenti sono, in generale, irriducibili ad aggiornamenti di stime di probabilità e di parametri di un «modelo del mondo» dato. Piuttosto, riguardano essenzialmente il perfezionamento dei «modelli» stessi e, qualche volta, la generazione di modelli nuovi. Dopo tutto, le strategie di ricerca delle imprese sono proprio questo. E l'imprenditorialità innovativa – all'interno delle imprese esistenti e con la nascita di nuove – è la permanente manifestazione del fatto che esistono sempre «modelli migliori» e opportunità inesplorate.

Terzo, è cruciale distinguere tra informazione e capacità di elaborare l'informazione stessa. Un esempio caricaturale che ho già fatto in un'altra occasione è la differenza che intercorre tra lo studio delle riviste economiche (che sono, in linea di principio «informazione», generalmente disponibile a costi molto bassi) e l'acquisizione del Nobel per l'economia. Nel secondo caso c'è una dimensione essenziale di capacità incodificabili, abbastanza indipendente dall'informazione assunta. Fondamentalmente, il caso di tutti i processi innovativi è analogo: a meno di un regresso infinito (... le capacità come metainforma-

zioni per l'elaborazione di informazioni di livello inferiore...), non è possibile ridurre la dinamica innovativa ad un semplice incremento informativo (quali stime più accurate di parametri di un «modello del mondo» ingenuamente assunto come «vero»...).

Tutto questo, a mio giudizio, ha conseguenze fondamentali per l'analisi economica. Se la prospettiva che sto impressionisticamente delineando è adeguata, allora la questione *dell'allocazione di date risorse* (e del coordinamento tra gli agenti nel loro uso) *diventa nettamente subordinata alla questione dell'apprendimento*. Proprio perché l'insieme delle opportunità inesplorate è ampio, le proprietà di ciascun sistema economico ad ogni dato istante saranno in primo luogo determinate dai tassi e dalle modalità con cui esso impara – e cioè introduce e diffonde nuove tecniche, nuovi prodotti, ecc. – e solo subordinatamente dalla maniera in cui alloca le risorse per *date* tecniche.

Per enfaticizzare un po', c'è sempre un *free lunch* collettivo.

Detto più rigorosamente, il sistema economico è, suggerisco, generalmente in condizioni di rendimenti dinamici crescenti. Naturalmente l'allocazione delle risorse è estremamente importante. Ma lo è proprio per gli effetti che particolari *patterns* allocativi esercitano sulla capacità e sugli incentivi futuri a innovare, e non tanto in termini di ottimalità allocativa ad ogni istante nel tempo. In altre parole, la «mano invisibile» dei mercati sarebbe ben poca cosa se non fosse la mano del «Prometeo Liberato» di David Landes². E ciò si vede bene quando alcune condizioni fondamentali per l'apprendimento, la scoperta, la sperimentazione vengono meno. Uno dei problemi difficilissimi che deve affrontare la *perestrojka* sovietica è proprio questo: se non fosse così Gorbaciov farebbe meglio a costruire semplicemente alcuni grossi calcolatori e risolvere complicati modelli di ottimizzazione...

Alcuni corollari di questa interpretazione sono altrettanto cruciali.

Primo, proprio perché le caratteristiche del sistema sono fondamentalmente determinate dai suoi *patterns* di apprendimento, l'analisi teorica richiede una esplicita rappresentazione del suo processo evolutivo nel tempo, che poi vuol dire la sequenza temporale dei comportamenti microeconomici e la loro interazione reciproca. Al contempo, proprio la permanenza di un insieme ampio e largamente ignoto di opportunità rende, a mio avviso, molto fragile l'analisi in termini di proprietà di equilibrio. Si cominci con notare che ciascun punto di questo insieme di opportunità contribuisce a definire un differente equilibrio virtuale. Pertanto, un insieme molto ampio di opportunità implica un insieme molto ampio di possibili equilibri. Detto grossola-

² Per una ampia discussione interdisciplinare di questi temi che in buona parte condivido, cfr. Salvati [1989].

namente, senza una esplicita caratterizzazione dei comportamenti, inevitabilmente «stilizzata» dalla storia e dall'indagine empirica, «non si sa dove si va a finire» e si potrebbe finire praticamente dappertutto.

Si veda lo stesso problema dall'angolo opposto e si assuma che non esistano opportunità inesplorate: le risorse e le tecniche sono date una volta per tutte. In questo caso, sì, è plausibile ipotizzare che il sistema converga ad un equilibrio che ottimizza l'uso delle risorse disponibili. In effetti, nelle circostanze in cui l'equilibrio è anche unico e stabile, l'esplicitazione del processo dinamico non ci aggiunge nulla alla conoscenza del sistema. È sicuramente più parsimonioso studiarne semplicemente le proprietà nell'equilibrio che è «attrattivo» e che prima o poi raggiungerà. Sappiamo però che la classe di modelli che soddisfano queste condizioni è molto ristretta, anche ammettendo la stazionarietà dei *fundamentals*³. A questo riguardo, la sola possibilità di molteplicità degli equilibri e di dipendenza dalle condizioni iniziali (come nei modelli non-lineari) è una allusione al fatto che *in genere la storia conta* persino quando l'insieme delle opportunità è dato e strettamente limitato. Tale caratteristica, per così dire, «esplode» quando il sistema non è vincolato sul lato delle opportunità: la dimensionalità dell'insieme dei possibili equilibri cresce. E poi: ci interessa davvero, dal punto di vista interpretativo, conoscere le proprietà asintotiche di un sistema che anche noi (gli analisti) possiamo solo imperfettamente descrivere perché continuamente scopre stati che nemmeno noi potevamo prevedere? Oppure, anche in una visione più disincantata della stessa questione: quanto ci interessa derivare assiomaticamente gli stati che «il mondo» *non* può assumere, se poi la dimensionalità di quelli che *può* assumere rimane molto alta?

Secondo, non c'è nessuna ragione di ritenere che la velocità di aggiustamento a (approssimativamente) dati *fundamentals* sia maggiore della velocità di mutamento dei *fundamentals* stessi. A livello microeconomico, ciò corrisponde alla condizione – empiricamente molto plausibile – che gli agenti non rispondano ad una situazione di «dis-equilibrio» aggiustando prezzi e quantità, ma, piuttosto, «inventando» nuovi processi produttivi, prodotti, strategie. Tutta la letteratura empirica e manageriale sugli «effetti di induzione» dell'ambiente economico sulle strategie innovative allude proprio a questo. A livello più tecnico, si noti che sappiamo dalla teoria dei sistemi dinamici che differenze nelle velocità relative di variazioni delle variabili producono differenze qualitative nelle configurazioni del sistema [cfr. Haken 1983]. Pertanto, le proprietà di un modello che assume l'equilibrio rispetto ai *fundamentals* possono non assomigliare nemmeno vaga-

³ Per una discussione approfondita vedi Silverberg [1988].

mente a quelle di un identico sistema nel quale la condizione non regge.

Terzo, gli errori sono parte integrante della storia che si vuole raccontare e interpretare teoricamente. Ciò implica, ovviamente, che i processi da analizzare sono plausibilmente «di disequilibrio»: gli agenti presentano sistematicamente credenze e strategie incompatibili tra di loro e risultati controintenzionali delle loro azioni.

Ma non solo: suggerisco che gli errori sono una parte essenziale del modo in cui il sistema «impara». In questo senso rappresentano una imprescindibile *esternalità*. Per identiche condizioni iniziali, un sistema continuamente in equilibrio presenterebbe una dinamica crescentemente diversa da un altro che «impara dagli errori»⁴.

Per una volta, quanto detto fino ad ora non è solo un *cabier des doléances* rispetto alle limitazioni delle teorie oggi prevalenti nella disciplina economica. Più positivamente, è anche, – soprattutto –, l'esplicitazione di congetture generali che, a mio modo di vedere, sebbene ancora abbastanza embrionali, mi paiono svilupparsi nel periodo più recente. Non mi è possibile discuterle dettagliatamente qui. Molto più dettaglio è in Dosi e Orsenigo [1988]. Ne fornirò solo alcuni riferimenti – una sorta di breve «mappa», – con una inevitabile dose di idiosincrasia personale.

Un riferimento immediato è il lavoro di Nelson e Winter, specialmente l'*Evolutionary Theory of Economic Change* [1982] che organizza molte delle idee «evolutive» esposte sopra (e molte altre che non è possibile discutere in questo saggio). È un grosso tentativo di *microfondare* la dinamica della crescita in un processo evolutivo di scoperta/innovazione/imitazione. Certamente alcune delle formalizzazioni lì presentate possiedono proprietà asintotiche non molto diverse dai modelli più tradizionali di crescita di equilibrio. A mio modo di vedere, però, occorre semplicemente considerarle come primi e semplici esempi di un progetto teorico, una «promessa analitica».

In uno spirito in qualche modo analogo, Iwai [1984a; 1984b], Gibbons e Metcalfe [1986], Metcalfe [1988], Eliasson [1984; 1986] presentano modelli o bozze di modello, – con o senza simulazioni e *tests* empirici –, con disequilibrio microeconomico ed uno sforzo di endogenizzazione delle «opportunità tecnologiche».

Silverberg [1987] e Silverberg, Dosi e Orsenigo [1988] tentano di procedere nella formalizzazione di sistemi che si «auto-organizzano», nel senso che le eventuali regolarità nella dinamica aggregata risultano da interazioni microeconomiche tra agenti *diversi* – in termini di cre-

⁴ Il modello di Silverberg, Dosi e Orsenigo [1988] genera esempi di questa proprietà. Una discussione di questa congettura è in Dosi e Orsenigo [1988]. Allen [1988] presenta un caso biologico essenzialmente analogo.

denze, aspettative, comportamenti – e permanentemente in disequilibrio. Provenienti da una tradizione alquanto differente, «post-austriaca», Amendola e Gaffard [1988] analizzano un processo di innovazione che stilizza un meccanismo di generazione endogena di competenze e opportunità e, pur senza una esplicita microfondazione concorrenziale, va oltre le «traverse» hicksiane e tenta di catturare la potenziale indeterminatezza degli stati attrattivi futuri del sistema e la loro endogenità.

In uno spirito più «classico», la maniera in cui interpreto Pasinetti [1982] è come un importante *Gedankenexperiment* (in una particolare accezione di equilibrio di lungo periodo) sulle implicazioni per la dinamica di un qualsiasi sistema economico della dominanza dei processi di apprendimento rispetto ai processi allocativi postulabili in condizioni stazionarie.

E poi ci sarebbero, ovviamente, una lunga serie di riferimenti agli antecedenti «nobili» nella storia del pensiero economico, da Kaldor (processi di «causazione circolare», ecc.) e A. Young sui rendimenti crescenti, fino a Schumpeter e ai classici. Non è possibile discuterne qui. Mi si lasci solo menzionare brevemente che considero in qualche modo «antecedenti» dei contemporanei modelli evolutivi/sequenziali/di auto-organizzazione tutte quelle analisi e congetture che in maniere pur molto differenti caratterizzano il sistema in condizione continuamente «esplorativa», con qualche sorta di rendimenti dinamici crescenti ed, eventualmente, disequilibrio economico.

Su un versante abbastanza diverso ma complementare, è cruciale per l'analisi chiedersi «che cosa fanno veramente gli agenti nelle condizioni ambientali sopra descritte?». Cioè: come selezioniamo, ad esempio, le dinamiche di comportamento che poi mettiamo in un ideale «modello evolutivo»? Esistono regolarità comportamentali abbastanza robuste da potere essere «stilizzate» senza la prevedibile accusa di essere *ad hoc*?

A livello teorico, ci sono fondate ragioni per ritenere che nelle condizioni ambientali tratteggiate sopra una caratterizzazione delle procedure decisionali in termini di ottimizzazione sia palesemente inadeguata e fuorviante. Per una discussione più approfondita sono costretto a rimandare ad altri lavori [Dosi e Egidi 1987]. Qui è sufficiente ricordare che, intuitivamente, se ad ogni istante ogni agente può «scoprire» nuove opportunità, ciò implica che, rigorosamente non sta ottimizzando sotto vincolo. Anzi, ciascun innovatore, in un certo senso, è uno che dice: «invece di tentare di ottimizzare sulla base di un vincolo, questo vincolo non mi piace, quindi lo cambio!». Di converso, se ciascuno può continuamente scoprire e innovare, ciò vuol dire che la lista esaustiva degli «stati del mondo» non è mai interamente nota agli agenti, che ciascuno di essi ne avrà una parzialmen-

te diversa, e ciò sarà vero anche per le strategie ed i *pay-offs* (nel linguaggio della teoria dei giochi, sarà generalmente impossibile ridurre un «gioco ad informazione incompleta» ai più trattabili giochi ad informazione completa).

Se tutto ciò è vero, allora tutta la tradizione di analisi delle procedure decisionali, a partire dai lavori di Herbert Simon sulla «razionalità limitata», è essenziale alla microeconomia dei processi evolutivi.

C'è pure una importante controparte empirica della questione. A mio modo di vedere qualsiasi generalizzazione sui comportamenti è inevitabilmente specifica a particolari ambienti e classi di problemi decisionali. Lo mostra, per assurdo, proprio quello che ritengo il fallimento che si sta consumando nella disciplina economica contemporanea di teorie completamente «ad-hoc-free».

Cioè: brutalizzando, mi pare che l'ingenuo tentativo di descrivere in maniera puramente razionale-deduttiva il comportamento o è tautologico (perché *ex-post* virtualmente tutti i comportamenti possono essere «ricostruiti razionalmente»), oppure sbagliato, e poi, mai interamente *ad-hoc-free* (perché, come dice Simon, la maggior parte dei risultati dipende alla fine dalla piccola nota all'inizio del modello... «supponiamo per comodità una funzione di utilità quadratica»..., ...«supponiamo neutralità verso il rischio»..., che sono proposizioni di natura empirica, ma generalmente inosservabili). Allora, è necessario andare a vedere come gli agenti si comportano davvero. Quello che ho in mente son un insieme di studi che vanno da Katona (che già negli anni Quaranta studiava decisioni di consumo e di investimento) fino ai lavori contemporanei sui processi decisionali [cfr. ad esempio Tversky e Kahnemann 1986] e la cosiddetta *experimental economics* [rassegne sono in V. Smith 1982 e Plott 1989]. Le regolarità empiriche cui alludo sono espansioni e raffinamenti di proposizioni tipo quelle più tradizionali, ad esempio sulle regole di prezzo via *mark-up*, regole di obsolescenza basate su periodi di *pay-back* ecc. ed altre proposizioni più sofisticate, su eventuali regolarità nei processi di transizione da certe routine ad altre.

Infine, ad un livello più tecnico, approssimativamente gli ultimi due decenni hanno visto un rapido sviluppo di modelli dinamici non-lineari che crescentemente permettono una analisi formale (almeno simulativa) del processo evolutivo. Non ci dovrebbe essere dubbio che un sistema innovativo è, in principio, non-lineare, se non altro perché caratterizzato dall'«accoppiamento dinamico» tra mutamento dei *fundamentals* ed aggiustamento ai *fundamentals* stessi. E, inoltre, sono proprio i processi non-lineari quelli in cui si esplicita la proposizione che «la storia conta». Bene, la potenziale convergenza tra a) tecniche di analisi dei sistemi non-lineari, b) analisi – teoriche ed empiriche – dei comportamenti in condizioni di «razionalità limitata», e, c) inter-

pretazioni del sistema economico in senso lato «evolutive» – di nuovo, teoriche ed empiriche –, contiene, a mio avviso, tutta la promessa di un grosso «progetto di ricerca» proprio concernente *come cambia e come sta assieme* un sistema che continuamente innova. E non è solo una promessa. I brevissimi cenni fatti sopra alla letteratura degli ultimi anni vogliono alludere anche ad una mappa di un *work-in-progress* molto variegato che comincia ad andare più in là di una lista di desideri. Comunque, si condivida o no il mio relativo ottimismo, è naturale chiedersi: ma che differenza fa? Che cosa in più o di diverso ci dice tale prospettiva interpretativa?

Ci sono delle buone ragioni teoriche per argomentare come nella maggior parte delle circostanze le proprietà di un sistema in equilibrio non sono nemmeno delle prime approssimazioni a quelle di un altro sistema, identico nelle condizioni iniziali, che si sviluppi in disequilibrio. Risultati in questo senso vanno dalla fisica e chimica, alla biologia e – si comincia – l'economia. Non è però questa la linea che voglio seguire qui. Piuttosto, ad un livello di generalità molto inferiore, fornirò nelle sezioni che seguono alcuni esempi relativi a vari campi dell'economia, tentando di mostrare che l'approccio «fa differenza» e questa differenza è anche spesso notevole.

3. Apprendimento ed evoluzione economica: alcuni esempi

3.1. Teoria della produzione

È perfettamente ovvio che in genere «ci vogliono degli inputs per produrre degli outputs positivi»: di nuovo, non c'è bisogno di un economista per saperlo! Ma è sufficiente tale tautologia per fondare la rappresentazione corrente delle attività produttive quali «funzioni di produzione» o «insiemi di possibilità di produzione», con le proprietà usuali della teoria economica? Sulla base delle osservazioni sopra, suggerisco che no: la permanente esistenza di opportunità inesplorate implica anche una rappresentazione del processo produttivo che esplicitamente rende conto della continua, e diseguale, esplorazione di tali opportunità.

Mi piace partire da una «favola teorica» in cui, all'inizio, esiste davvero un «insieme di possibilità di produzione», con tutte le condizioni di continuità, convessità, differenziabilità, ecc. rispettate. Si supponga anche che la tecnica che tutti gli agenti scelgono sia quella che corrisponde al punto di tangenza tra la superficie di isoquanto e prezzi relativi, come da qualsiasi manuale di microeconomia. A questo virtuale tempo zero, siamo dunque in un equilibrio assolutamente ortodosso. Basta ora supporre che gli agenti possano apprendere *localmente*, nell'intorno della tecnica di equilibrio (diciamo; con due in-

puts, capitale e lavoro omogenei, nell'intorno di (K_0, L_0)). È anche l'intuizione, per esempio, di Atkinsons e Stiglitz [1969], più generalmente formalizzata in Nelson e Winter [1982].

Spingiamo avanti il ragionamento. Con o senza mutamento dei prezzi relativi, con opportunità inesplorate, qualche agente svilupperà una tecnica (diciamo K_t, L_t), univocamente superiore alla precedente nel senso che

$$[(K_t - K_0)c_k + (L_t - L_0)w] < 0,$$

per qualsiasi c_k , il costo dei beni capitali, e per qualsiasi w , i salari per unità di lavoro. Altri agenti scopriranno e adotteranno tecniche diciamo nell'intervallo

$$[(K_{t1}c_k + L_{t1}w) < \dots < (K_{it}c_k + L_{it}w) < \dots < (K_{in}c_k + L_{in}w)],$$

con tali agenti opportunamente ordinati da 1 a n ed (almeno) l' n -esimo agente che mantiene la tecnica del tempo zero.

Estendiamo ulteriormente la metafora. Se anche il «miglior» agente dal tempo t apprende «localmente», egli avrà probabilità di transizione a tecniche «superiori» dipendenti dalla sua tecnica in uso. Aggiungiamo che gli altri agenti confrontano probabilità di transizione a tecniche «superiori» dipendenti dalla loro tecnica in uso e dalle best-practices. È abbastanza facile vedere la «morale della favola». Come discuto più estesamente a livello empirico in Dosi [1988], si comincia con un insieme di possibilità di produzione ortodosso e si finisce con una *traiettoria tecnologica* in cui ad ogni istante gli agenti sono, per così dire, gerarchicamente ordinati in termini di efficienza nell'uso degli inputs. Nello stesso intervallo temporale (virtualmente «istantaneo») i coefficienti sono (approssimativamente) *fissi* e *diversi*. Nel periodo più lungo, in cui permettiamo agli agenti di cercare e adottare nuove tecniche, osserveremo processi di *imitazione* e *innovazione*, relativamente ordinati lungo tali stesse traiettorie, dipendenti a) dalla natura delle opportunità e basi di conoscenza – ciò che chiamo «paradigmi tecnologici» –, e b) dalle tecniche già in uso (proprio perché la storia conta e l'apprendimento è cumulativo e locale). A livello teorico, le proprietà di processi stocastici non-ergodici (in cui le probabilità di transizione dipendono anche dalla storia delle realizzazioni passate, come in Arthur, Ermoliev e Kaniovski [1987]) sono particolarmente congruenti alla rappresentazione di queste dinamiche.

Si confronti questa «favola evolutiva» con la «favola ortodossa», centrata su possibilità di combinazioni convesse tra tecniche nel breve periodo e *shifts* esogeni nel periodo più lungo. Che cosa ci dice di diverso? *Prima facie*, ci dice di meno perché appare come un caso particolare di un mondo, più generale, in cui è possibile sostituire anche nel breve periodo tra inputs produttivi. In effetti, a mio modo

di vedere, ci dice molto di più perché permette di collegare una sorta di «fotografia» del breve periodo con la dinamica del lungo (cosa che, chiaramente, la favola ortodossa esclude). Inoltre, ci permette di esplorare – empiricamente e teoricamente – le relazioni tra natura delle opportunità innovative e performances osservate. Infine, ci consente di incorporare nella teoria proprio quei fenomeni di «disequilibrio» ed asimmetria tra gli agenti così frequenti nell'osservazione empirica. In questo senso, la teoria della produzione diviene anche, in principio, congruente con alcune regolarità fondamentali osservabili nell'economia industriale contemporanea.

3.2. Performance ed evoluzione industriale

Una maniera abbastanza diretta di collegare le brevi congetture sulla teoria della produzione presentate qui con l'analisi delle strutture industriali è attraverso l'osservazione delle persistenti asimmetrie osservabili tra le imprese in ciascuna industria e la loro dinamica. Quali sono le implicazioni teoriche del fatto che le varie imprese operanti nello stesso mercato siano significativamente diverse in termini di efficienza produttiva, qualità dei prodotti, assetti organizzativi?

Primo, una teoria «evolutiva» permette di microfondare le asimmetrie tra le imprese in una sottostante dinamica dell'*apprendimento e della selezione* (tra agenti che apprendono con ritmi e modalità diverse). L'analisi teorica non richiede alcun atto di fede nell'attrattività di un qualche stato asintotico di equilibrio, ma, al contrario, esplicitamente assume la diversità ed il «disequilibrio» come proprietà permanenti dei fenomeni in analisi. In tutto ciò, tende a spiegare l'eventuale coerenza osservata nelle variabili aggregate (prezzi, produttività, mark-ups, ecc.) come il risultato collettivo dell'iterazione tra agenti che *competono* ed, al tempo stesso, *imparano*, secondo modalità che sono loro proprie, con molti errori ma anche, spesso, con creatività ed innovazione.

Secondo, «storie evolutive», a mio modo di vedere, permettono di rendere conto delle diversità intersettoriali nelle forme di mercato, modi di organizzazione, processi di interazione, dinamiche nelle performances, ecc. Più concretamente: a quale livello l'industria tessile è diversa dall'industria dei calcolatori? Perché i produttori di microelettronica producono loro stessi buona parte delle loro innovazioni, mentre quelli che producono scarpe le adottano in buona parte da altri settori attraverso l'acquisizione di beni capitali e componenti intermedi? Perché l'industria automobilistica è più concentrata di quella che produce magliette di lana? Perché la produttività del lavoro cresce molto più rapidamente nell'industria dei semiconduttori che

non nella produzione dell'acciaio? E, naturalmente, ci sono molte altre questioni che empiricamente riguardano la varietà empirica nella struttura e nella dinamica industriale. Suggestisco che una parte essenziale della risposta a queste domande concerne la diversità intersettoriale nella natura delle opportunità innovative; gli incentivi al loro sfruttamento e le modalità in cui esso avviene; la natura delle organizzazioni d'impresa che incorporano tali capacità di sfruttamento ed elaborazione delle opportunità; i meccanismi di interazione di mercato. In questo ambito d'indagine, la teoria, per così dire, «mappa» le regolarità empiriche in una sottostante dinamica evolutiva di apprendimento e selezione.

Naturalmente, c'è un'altra risposta a tutte queste domande, che apparentemente la unifica e che dice più o meno, «tutto quello che osserviamo è il risultato di una interazione strategica di equilibrio»; «se ci sono differenze tra l'industria tessile e quella dei calcolatori, esse appartengono ai dati che *precedono* la teoria ma le due industrie sono identiche in termini di intenzionalità dei comportamenti»; «la teoria deve analizzare solo l'esistenza e le eventuali proprietà degli equilibri». Devo confessare che mi è difficile incontrare, in questo secondo approccio, una qualche conclusione empiricamente fondata ed al tempo stesso non-banale. E poi, per usare una caricatura, ciò mi sembra pericolosamente vicino ad una sorta di *vulgata* della filosofia classica tedesca in una versione per bottegai ingordi: ... «tutto ciò che è reale è razionale nel senso che compatibile con il perseguimento dell'interesse individuale...». E allora?

Più proficuamente, mi pare che la teoria debba rendere conto precisamente della *varietà nelle strutture e nelle dinamiche industriali*. Esempi, tra i tanti, di proposizioni empiriche non-banali ed empiricamente corroborabili derivanti da una teoria industriale «evolutiva» sono:

- a) la persistenza delle asimmetrie – in termini di efficienza produttiva e qualità dei prodotti – tra imprese di uno stesso settore è funzione dei livelli di opportunità innovativa e appropriabilità delle innovazioni stesse;
- b) la concentrazione di ciascun mercato è funzione dell'opportunità, cumulatività, appropriabilità dell'innovazione;
- c) la media e la varianza dei tassi di profitto di ciascuna industria sono monotoniche nelle asimmetrie tra le imprese.

Ce ne sono molte altre. Ciò che voglio illustrare qui è semplicemente la potenzialità euristica di un approccio incentrato sulle caratteristiche dei processi di esplorazione innovativa, prova-ed-errore, selezione concorrenziale, anziché di compatibilità *ex-ante* tra «piani razionali» degli agenti.

3.3. Patterns di commercio internazionale

Forse uno degli ambiti in cui è più immediata l'applicazione dell'approccio esplicitato sopra è proprio quello della dinamica del commercio internazionale e delle sue implicazioni per la crescita macroeconomica.

Si noti innanzitutto come la maggior parte della teoria comunemente accettata nella professione – anche al di là di profonde differenze nelle ipotesi e metodologie analitiche – concorda su una sorta di agnosticismo sulle condizioni tecnologiche di ciascun paese e sulla sua dinamica di apprendimento. Ovviamente, la versione estrema di tutto ciò è la teoria Heckscher-Ohlin-Samuelson che esplicitamente assume identità tra le funzioni di produzione dei vari paesi. È altrettanto noto che nella teoria economica contemporanea del commercio internazionale si è andati molto oltre la versione standard dei modelli di commercio basati su dotazioni fattoriali in condizioni di mercati concorrenziali ed equilibrio. È pur sempre vero, però, che persino nei modelli con mercati imperfetti, differenziazione di prodotto, oligopolio (per esemplificare, alla Helpmann-Krugman) si è in genere mantenuta una ipotesi sottostante di identità negli «insieme di probabilità di produzione» tra i vari paesi.

Bene, ciò che suggerisco – ed è argomentato più estesamente in Dosi, Pavitt e Soete [1990] e Cimoli [1989] – è che le variabili esplicative dominanti per i *patterns* di commercio internazionale concernono, al contrario i *vantaggi e svantaggi assoluti tra paesi e la loro dinamica*.

Con ciò, intendo vantaggi/svantaggi indipendenti dal confronto inter-settoriale all'interno di ciascun paese, ma fondati semplicemente sul confronto tra paesi nello stesso settore (o nell'insieme dei *tradables*). Così, per fare un esempio, nel famoso esempio ricardiano del vino e della stoffa, il Portogallo ha un vantaggio assoluto in entrambi oltre che, ovviamente, un vantaggio comparato nel vino. Bene, un approccio in senso lato «evolutivo» al commercio internazionale suggerisce, a mio avviso, le seguenti proposizioni:

a) Asimmetrie tecnologiche (cioè vantaggi/svantaggi assoluti) tra paesi sono una caratteristica fondamentale e permanente.

b) Esse determinano in prima approssimazione la partecipazione di ciascun paese al commercio internazionale (dopo avere, naturalmente, normalizzato per le dimensioni dei vari paesi, il loro grado di apertura, ecc.), e, per questa via, anche i massimi livelli e tassi di crescita dei redditi compatibili con il vincolo estero.

c) I «vantaggi comparati» sono una sorta di «variabile dipendente», risultato della dinamica dei sottostanti vantaggi/svantaggi assoluti, i quali a loro volta mutano nel tempo in relazione ai tassi e le direzio-

ni di apprendimento, innovazione, imitazione dei vari paesi in ciascun settore.

d) La dinamica innovativa/imitativa di ciascun paese in ciascun settore dipende dalle opportunità tecnologiche implicite in ciascun «paradigma tecnologico», dalle (*diverse*) capacità delle imprese localizzate nei vari paesi; dalle condizioni di appropriabilità delle innovazioni, ed infine dalle condizioni istituzionali che abbondantemente influenzano le condizioni di apprendimento.

Per illustrare tutti questi punti mi si consenta di menzionare alcuni esempi semplicissimi ma molto rivelatori.

Primo, si noti che le proposizioni suggerite qui sono ovviamente compatibili con l'evidenza empirica – che certo non richiede fini arti statistiche – sugli enormi *gaps* tecnologici tra paesi. Non stò solo parlando delle differenze tra il Burkina Fasso e gli USA, ma persino tra paesi sviluppati, ad esempio, tra USA, Giappone e paesi europei nella produzione di automobili o di semiconduttori.

Secondo, si noti come ironicamente sono proprio i comportamenti degli agenti economici e degli Stati nazionali a mostrare l'importanza dei fenomeni di apprendimento cumulativo anche al di là, o *contro*, i vantaggi relativi rivelati da ciascun paese nel breve periodo. Detto più brutalmente: se non esistessero ampie possibilità di apprendimento, perché i Paesi che non sono sulla frontiera tecnologica dovrebbero resistere tanto, ad esempio, in sede GATT, ad una liberalizzazione indiscriminata dei flussi commerciali? È plausibile che agenti dipinti dagli economisti nei testi di micro e macro come iper-razionali diventino improvvisamente stupidi nei negoziati commerciali? È plausibile spiegare il loro comportamento semplicemente *qua* prigionieri di *lobbies* monopolistiche interne? A mio modo di vedere, in realtà, la storia di buona parte dei paesi che hanno dovuto affrontare un *catching-up* tecnologico (dagli USA e la Germania nel secolo scorso, fino al Giappone e la Corea nel dopoguerra) illustra bene le proprietà di un processo evolutivo di apprendimento che è avvenuto malgrado condizioni iniziali di svantaggio *assoluto e relativo* e che è stato permesso anche da interventi istituzionali «distorsivi» rispetto ai segnali di mercato.

In questo senso, se si vuole, un mondo evolutivo rende generale ma una sorta di «infant-industry argument» e permette di analizzare la permanente possibilità di tensioni e conflitti tra condizioni di apprendimento, da una parte, ed efficienza allocativa di breve periodo dall'altra, o al contrario, la possibilità di «circoli virtuosi» tra gli incentivi che gli agenti microeconomici incontrano e la loro dinamica innovativa (quest'ultimo caso, suggerisco, è frequente nei paesi che si trovano sulla frontiera tecnologica nelle attività che ad un dato momento presentano abbondanti opportunità di apprendimento).

3.4. Economia dell'ambiente

Questa area di indagine economica è forse tra quelle più rivelatrici delle differenti implicazioni degli approcci «standard» ed «evolutivo». Si consideri ad esempio il problema abbastanza usuale di una esternalità negativa (diciamo un fenomeno di inquinamento). Bene, se le «opportunità sono – almeno nel breve periodo – date, finite e pressoché interamente sfruttate, è facile definire il problema in termini di *trade-off* tra «costo sociale» dell'inquinamento e costi individuali del non-inquinamento. Così spesso, il problema può essere formulato come un *trade-off* tra vincoli regolatori, cioè «pulizia ambientale», e sviluppo. Ma è proprio così?

Primo, l'evidenza empirica mostra che i paesi che per primi introducono regimi regolatori stringenti sono anche quelli che sviluppano una leadership nelle correlate tecnologie «disinquinanti» e che queste ultime divengono esse stesse un fattore di crescita e competitività internazionale.

Secondo, proprio perché l'insieme di opportunità è ampio e largamente ignoto, la rappresentazione *ex-ante* dei possibili *trade-offs* è necessariamente incerta ed incompleta. In realtà quello che succede *ex-post* è che spesso il *trade-off* stesso scompare: l'intervento regolativo modifica le «traiettorie» di apprendimento tecnologico, fa emergere nuovi insiemi di conoscenza, focalizza la ricerca in direzioni prima inesplorate.

Dovrebbe essere chiaro come tutto ciò sia strettamente compatibile con l'approccio suggerito in questo lavoro, ma molto meno con modellizzazioni che escludono la possibilità di «quasi-free-lunches», apprendimento endogeno, rendimenti dinamici crescenti.

4. Conclusioni

In queste note ho discusso alcune caratteristiche che ritengo fondamentali di economie che continuamente «imparano» ed innovano. Ho tentato di mostrare anche alcune implicazioni in vari ambiti dell'analisi economica, ben al di là dell'«economia dell'innovazione» in senso stretto. Se mi è concesso di generalizzare oltre gli esempi che ho fatto, suggerisco che le caratteristiche permanenti di innovatività di un sistema economico richiedono una significativa rifondazione *a)* della microeconomia dei comportamenti, e *b)* dei rapporti tra «statica» e «dinamica», cioè nel linguaggio dell'introduzione a questo saggio, tra «processi di coordinamento» e «processi di cambiamento».

In questo senso, gli esempi sopra devono essere intesi come illustrazioni molto parziali delle implicazioni interpretative di un approccio che ho definito in senso lato «evolutivo» e che, a mio modo di

vedere i) assume esplicitamente l'inseparabilità tra «cambiamento» e «coordinamento» e ii) deriva le proprietà di coordinamento proprio dalla dinamica evolutiva. Per illustrare caricaturalmente, è ciò che chiamo il «teorema della bicicletta»: salvo che per alcuni ciclisti molto esperti, lo stare in piedi dipende proprio dal fatto che si sta pedalando! Cioè, fuori metafora, il coordinamento di un sistema economico con innovazione endogena dipende, suggerisco, proprio dalle sue caratteristiche di non-stazionarietà e differisce significativamente da altri sistemi in cui i *free-lunches* sono esclusi. Inoltre nella modellizzazione di tali dinamiche, storia e teoria sono inevitabilmente congiunte, proprio perché la prima è crucialmente chiamata a fornire le «stilizzazioni» dei comportamenti, delle condizioni iniziali, dei processi di aggiustamento...

Rispetto all'interpretazione di tutto ciò, spero di essere riuscito a presentare alcune promesse analitiche ed alcuni risultati di quello che ho definito un approccio «evolutivo». Naturalmente il nome non è molto importante. Quello che conta è che, a mio avviso, stiamo assistendo alla crescita di un insieme, seppure abbastanza eterogeneo, di modelli ed analisi empiriche focalizzati esplicitamente sulle proprietà di sistemi economici in cui «Prometeo è scatenato». E questo, come ho tentato brevemente di esemplificare, fa una significativa differenza in termini di congetture teoriche e risultati dell'analisi economica.

Riferimenti bibliografici

- Allen P. (1988), *Evolution, Innovation and Economics*, in Dosi e altri (1988).
 Amendola M. e Gaffard J.L. (1988), *The Innovative Choice*, Oxford, Basil Blackwell.
 Arcangeli F., David P. e Dosi G. (a cura di) (di prossima pubblicazione), *Innovation Diffusion*, Oxford, Oxford University Press.
 Arthur B., Ermoliev Y.M. e Kaniowski Y.M. (1987), *Path-dependent Process and the Emergence of Macrostructures*, in «European Journal of Operational Research».
 Atkinsons A. e Stiglitz J. (1969), *A New View of Technological Change*, in «Economic Journal».
 Batten D., Casti J. e Johansson B. (a cura di) (1987), *Economic Evolution and Structural Adjustment*, Berlin/New York, Springer Verlag.
 Cimoli M. (1989), *Technological Gaps and Institutional Asymmetries in a North-South Model with a Continuum of Commodities*, in «Metroeconomica».
 David P. (1975), *Technical Choice, Innovation and Economic Growth*, Cambridge, Cambridge University Press.
 Dosi G. (1988), *Sources, Procedures and Microeconomics Effects of Innovation*, in «Journal of Economic Literature».
 Dosi G. e Egidi M. (1987), *Substantive and Procedural Uncertainty. An Explo-*

- ration of Economic Behaviours in Changing Environment*, Brighton, SPRU, University of Sussex, DRC Discussion Paper.
- Dosi G., Freeman C., Nelson R., Silverberg G. e Soete L. (a cura di) (1988), *Technical Change and Economic Theory*, London, Francis Pinter.
- Dosi G. e Orsenigo L. (1988), *Coordination and Transformation: On Overview of Structures, Behaviours and Change in Evolutionary Environments*, in Dosi e altri (1988).
- Dosi G., Pavitt K. e Soete L. (di prossima pubblicazione), *The Economics of Technological Change and International Trade*, Brighton, Wheatsheaf.
- Eliasson G. (1984), *Microheterogeneity of Firms and the Stability of Industrial Growth*, in «Journal of Economic Behavior and Organization».
- (1986), *Innovative Change, Dynamic Market Allocation and Long-Term Stability of Economic Growth*, in Arcangeli e altri (di prossima pubblicazione).
- Freeman C. (1982), *The Economics of Industrial Innovation*, London, Francis Pinter, seconda edizione.
- Gibbons M. e Metcalfe J.S. (1986), *Technological Variety and the Process of Competition*, in Arcangeli e altri (di prossima pubblicazione).
- Haken H. (1983), *Synergetics. An Introduction*, Berlin/New York, Springer Verlag, terza edizione.
- Iwai K. (1984a), *Shumpeterian Dynamics. Part I: An Evolutionary Model of Innovation and Imitation*, in «Journal of Economic Behavior and Organization».
- (1984b), *Shumpeterian Dynamics. Part II: Technological Progress, Firm Growth and Economic Selection*, in «Journal of Economic Behavior and Organization».
- Landes D. (1969), *The Unbound Prometheus*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Metcalfe S. (1988), *The Diffusion of Innovation: An Interpretative Survey*, in Dosi e altri (1988).
- NBER (National Bureau of Economic Research) (1962), *The Rate and Direction of Innovative Activities*, NBER/Chicago University Press.
- Nelson R. (1988), *Institution Supporting Technical Change in the United States*, in Dosi e altri (1988).
- Nelson R. e Winter S. (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge (Mass), The Belknap Press of Harvard University Press.
- Pasinetti L.L., *Structural Change and Economic Growth*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Plott C.R. (1989), *An Updated Review of Industrial Organization: Applications of Experimental Methods*, in Schmalensee e Willig (1989).
- Prigogine I. e Stenger I. (1979), *La Nouvelle Alliance*, Paris, Gallimard.
- Romer P.M. (1986), *Increasing Returns and Long-Run Growth*, in «Journal of Political Economy».
- Rosenberg N. (1976), *Perspective on Technology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- (1982), *Inside the Black Box*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Salvati M. (1989), *Progresso Tecnico, Sviluppo e Modelli di Società*, in A. Ruberti (a cura di), *Europa e Tecnologia Domani*, Bari, SEAT/Laterza, di prossima pubblicazione.

- Schmalensee R. e Willig R. (1989), (a cura di), *Handbook of Industrial Organization*, Amsterdam, North Holland.
- Silverberg G. (1987), *Technical Progress, Capital Accumulation and Effective Demand: A Self-Organization Model*, in Batten e altri (1987).
- Silverberg G. (1988), *Modelling Economic Dynamics and Technical Change: Mathematical Approches to Self-Organization and Evolution*, in Dosi e altri (1988).
- Silverberg G., Dosi G. e Orsenigo L. (1988), *Innovation Diversity and Diffusion. A Self-Organization Model*, in «Economic Journal».
- Smith V. (1982), *Microeconomic Systems as an Experimental Science*, in «American Economic Review».
- Tversky A. e Kahnemann D. (1986), *Rational Choice and the Framing of Decision*, in «Journal of Business», ottobre, special issue.