



Via Po, 53 – 10124 Torino (Italy)  
Tel. (+39) 011 6702704 - Fax (+39) 011 6702762  
URL: <http://www.de.unito.it>

## WORKING PAPER SERIES

**IL CAMMINO DELLA COMPLESSITA'**

Cristiano Antonelli

Dipartimento di Economia "S. Cognetti de Martiis"  
Laboratorio di Economia dell'Innovazione "Franco Momigliano"

Working paper No. 08/2005



Università di Torino

## **IL CAMMINO DELLA COMPLESSITA'**

**PREFAZIONE ALL'EDIZIONE ITALIANA DI MARK TAYLOR, IL MOMENTO DELLA COMPLESSITA', CODICE, TORINO, 2005. (THE MOMENT OF COMPLEXITY, EMERGING NETWORK CULTURE, THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS, CHICAGO 2003).**

**CRISTIANO ANTONELLI<sup>1</sup>**

I processi di ricombinazione caratterizzano da sempre il progresso scientifico. La ricombinazione scientifica consiste di processi di migrazione disciplinare: teorie e progetti di ricerca elaborati in un contesto scientifico e coronati dal successo euristico in quell'ambito sono oggetto di tentativi di applicazione in altre regioni del sapere. Spesso l'applicazione a nuovi ambiti disciplinari richiede forme particolari di adattamento. Germogliano così varianti del modello di base. Tra le varianti stesse si producono processi di fertilizzazione incrociata. Non di rado varianti del modello di base trovano applicazione fruttuosa perfino nel campo originario da cui il processo è partito. Non sempre del resto la ricombinazione ha luogo, dopo un primo entusiasmo l'adozione del modello originario si rivela poco appropriata al nuovo contesto interpretativo, troppo rigida nella sua struttura analitica e incapace di far posto ai necessari cambiamenti.

Le scienze esatte sono state frequentemente all'origine di tali fenomeni: modelli interpretativi elaborati nell'ambito della fisica e della biologia sono stati applicati alle scienze umane e

---

<sup>1</sup> Cristiano Antonelli è professore ordinario di politica economica, direttore del Dipartimento di Economia 'Cognetti de Martiis', direttore del Laboratorio di economia dell'innovazione 'Franco Momigliano', presidente del Consiglio di Corso di Laurea in Comunicazione per le Imprese e le Istituzioni, nell'Università di Torino e editor della rivista 'Economics of Innovation and New Technology'.

alle scienze sociali. Nel corso del XIX e XX secolo si registrano numerosi tentativi di applicazione della meccanica razionale e del darwinismo rispettivamente elaborati nella fisica e nella biologia alle scienze umane. La teoria economica occupa una regione di frontiera tra le due grandi partizioni del sapere e come tale è particolarmente esposta ai grandi processi di ricombinazione. Non a caso proprio sul terreno dell'analisi economica si registrano i primi e più evidenti tentativi di ricombinazione anche per quanto riguarda la teoria della complessità. Soprattutto nel passaggio dalle scienze esatte alle scienze umane e sociali si rende necessario un adattamento radicale che consenta di tener conto delle peculiarità dell'azione umana, se confrontata sia con le regole di comportamento di oggetti inanimati che con le diverse manifestazioni della natura vegetale ed animale. Gli esseri umani pensano, progettano e talora comprendono perfino alcune delle conseguenze delle loro azioni, in ogni caso sono dotati di libero arbitrio.

Nel caso del neodarwinismo, in particolare, il processo di migrazione di categorie analitiche e strutture interpretative è stato molto intenso e a più riprese l'analisi economica e sociologica hanno registrato robuste tentative di applicazione di concetti originati e applicati con un certo successo nel campo della biologia e poi più in generale nelle scienze naturali. Anzi analizzando il caso del neodarwinismo il processo di diffusione e ricombinazione manifesta delle sequenze particolarmente interessanti. Già negli anni cinquanta del XX secolo si registrano i primi tentativi di applicazione delle categorie fondamentali del darwinismo all'analisi economica. In seguito è la volta della sociologia, cui seguono l'antropologia e poi la linguistica. Proprio il caso del darwinismo dimostra che non sempre la ricombinazione scientifica mette capo a risultati confortanti. I tentativi di sviluppare sociobiologia e l'evoluzionismo economico non sembrano infatti coronati dal successo, proprio per la difficoltà di rendere conto dei processi di riproduzione della varietà e per le implicazioni normative,

non sempre condivisibili nè credibili quando applicate all'analisi dei sistemi sociali e dell'azione umana

Proprio analizzando il caso del neodarwinismo si può dare un contenuto specifico al concetto di ricombinazione. Non si tratta infatti di una mera diffusione, ovvero dell'applicazione dei principi interpretativi originari, quanto piuttosto di un processo di adozione creativa e al tempo stesso generativa che, in quanto applica ad un contesto interpretativo nuovo, categorie analitiche originate altrove, le sottopone ad un processo di interpretazione e revisione, dando luogo appunto ad un processo di ricombinazione che consente alle discipline invase di assimilare le categorie originarie solo in quanto vengono adattate al nuovo ambito applicativo. Nel caso specifico dell'applicazione dell'evoluzionismo alle scienze sociali ad esempio si rileva il robusto tentativo di riprendere l'analisi di Lamarck, e quindi l'ipotesi di una possibilità di retroazione dei fenotipi sui genotipi, intesi come caratteri permanenti del patrimonio culturale anzichè genetico, proprio per rendere conto della possibilità di evoluzione culturale, tecnologica, delle preferenze e dei comportamenti, benchè notoriamente l'evoluzionismo lamarckiano fosse stato abbandonato nelle scienze naturali.

La ricombinazione ha successo e si compie in quanto è capace dar luogo a un processo di adozione creativa che combina spunti analitici esogeni con le dinamiche interpretative e soprattutto con l'oggetto specifico e nuovo di applicazione e quindi con la sua specifica tradizione interpretativa e le sue categorie idiosincratiche.

Il libro di Taylor può essere considerato un esempio rilevante e significativo di un avanzato stadio del processo di ricombinazione creativa che ha per oggetto la migrazione della teoria della complessità dalla fisica alle scienze umane e sociali e la sua successiva manipolazione e degenerazione interpretativa, nel tentativo di addivenire ad un compiuto processo di adozione e applicazione creativa.

La teoria della complessità si articola e si sviluppa nell'ambito della fisica teorica nel corso della seconda metà del XX secolo attorno ad un paradigma interpretativo piuttosto robusto secondo il quale incessanti processi di interazione a livello disaggregato sono suscettibili sia di modificare i comportamenti degli aggregati che di alterare le stesse condizioni strutturali del sistema producendo effetti non deterministici. Gli esiti dei processi di interazione sono in larga parte condizionati dalle condizioni strutturali del sistema ad ogni momento dato. In effetti la resilienza dei dati strutturali è tale da garantire condizioni di sostanziale prevedibilità dei processi. L'interdipendenza sistemica degli agenti è tuttavia molto forte. Cambiamenti strutturali, in particolare legati alle caratteristiche topologiche del sistema e anche alle modalità di interazione tra gli elementi costitutivi, sono talora possibili e in particolari condizioni si producono degli effetti di cambiamento radicale che alterano i risultati a livello aggregato e modificano i caratteri strutturali del sistema stesso. Emerge così una rappresentazione intrinsecamente dinamica della realtà analizzata in cui l'esito dei processi dinamici è determinato dall'interazione tra gli elementi di parziale rigidità, storicamente determinata delle componenti strutturali del sistema, e l'azione interdipendente degli agenti. L'esito dei processi dinamici è in grande misura indeterminato sia per quanto riguarda la direzione del cambiamento che la sua velocità. La dinamica del sistema è infatti caratterizzata da forti elementi di discontinuità con ritmi di mutamento irregolari e soprattutto punti critici di cambiamento radicale.

La teoria della complessità ha conosciuto un considerevole successo nel campo della fisica, in cui è nata, e in seguito ha dilagato nel più ampio campo delle scienze esatte con numerosi tentativi di applicazione nel campo della chimica e in seguito della stessa biologia, in particolare con interessanti esiti nel campo dell'astrofisica e della paleontologia.

Essa stessa è naturalmente il risultato di un processo incrementale di affinamenti metodologici non privo di discontinuità e di fenomeni di retroazione. Il punto di partenza può essere individuato in sistemi di equazioni non lineari che in ragione della loro particolare sensibilità ai valori dei parametri possono determinare una pluralità di esiti pur in presenza di alcune relazioni causali semplici, ma connesse. In seguito, su questa base, si è innestata un'analisi più approfondita e meno determinata da specificità matematiche interne al sistema di relazioni causali. Si è data particolare rilevanza alle interdipendenze dinamiche tra una pluralità di agenti eterogenei come elemento trainante del processo dinamico, ammettendo che in particolari circostanze la varietà degli agenti e delle loro relazioni fosse suscettibile di modificare in primo luogo i caratteri stessi delle relazioni di interdipendenza e quindi sia i risultati a livello aggregato che la natura stessa dei processi. In effetti si può anche sostenere che il passaggio da una complessità meramente matematica ad una complessità dinamica di carattere strutturale fondata su meccanismi di interdipendenza sistemica tra grandi numeri di agenti eterogenei sia il risultato di un sistema di retroazione scientifica, una forma estrema di ricombinazione, che ha riportato nel campo della fisica i risultati metodologici di alcuni progressi compiuti nella biologia, nella genetica e nell'informatica.

L'informatica ha svolto in questo processo un ruolo centrale al tempo stesso euristico e strumentale. L'informatica infatti ha fornito uno strumento cognitivo fondamentale forgiando tecniche di simulazione che hanno fornito ai ricercatori una metodologia straordinariamente fertile e quasi pericolosa di rappresentazione del funzionamento di sistemi aggregati basati su una pluralità di microagenti che interagiscono. La realtà simulata tende spesso a configurarsi come realtà interpretata. Vista la congettura fondamentale della teoria della complessità, ovvero la possibilità di una molteplicità di possibili configurazioni degli assetti aggregati, la realtà simulata tende ad essere sempre di più considerata una delle realtà possibili. La simulazione induce

talora a trascurare il lavoro di verifica dei parametri della resilienza, ovvero della rigidità dei dati strutturali e delle regole dell'interazione, gli elementi che per così dire assicurano una replicabilità degli esiti delle interazioni e impediscono la configurazione seriale di una illimitata quantità di esiti aggregati. L'informatica in quanto pratica operativa e quindi tecnica, anziché teoria, ha contribuito potentemente alla diffusione delle teorie della complessità in quanto criterio interpretativo e dunque principio organizzativo delle reti informatiche a loro volta tipicamente caratterizzate da una molteplicità di agenti che interagiscono (si pensi a Internet) e così facendo concorrono alla definizione dei risultati dei processi complessivi di comunicazione e controllo di processi produttivi e distributive. Così facendo la teoria della complessità è diventata potente strumento tecnologico oltre che strumento analitico e quindi scientifico.

La teoria economica è stata naturalmente esposta ai grandi processi di migrazione del paradigma della complessità. Qui i punti di contatto erano in realtà ampi. La teoria economia si presentava infatti 'naturalmente' come una teoria sistemica che analizzava il funzionamento del sistema economico a partire da una rappresentazione fondata su processi di interazione tra una molteplicità di agenti. Nella teoria economica tradizionale, sin dalla sua rifondazione neoclassica, a sua volta fortemente condizionata dalla grande ricombinazione innescata dalla meccanica razionale che nell'epoca del positivismo aveva permeato una porzione importante dell'intero scibile, si trovavano dunque già presenti due degli elementi costitutivi del paradigma della complessità: un sistema composto da agenti che interagiscono e che determinano un risultato aggregato che scaturisce dalle regole dell'interdipendenza. Il modello economico tradizionale non sfuggiva tuttavia al determinismo classico. Per ottenere risultati certi e preconfigurabili, ovvero l'equilibrio economico generale, anche nelle sue configurazioni dinamiche peraltro rigorosamente esogene, e quindi implicazioni positive e normative, la teoria economica

tradizionale aveva assunto una dotazione originaria di fattori produttivi fondamentali e delimitato fortemente le regole di comportamento degli agenti, relegando al suo esterno la determinazione di cambiamenti nelle preferenze dei consumatori, nelle tecnologie dei produttori e nelle stesse dotazioni fattoriali. L'analisi delle prime era relegata o meglio affidata alla psicologia. Lo studio delle seconde ai tecnologi intesi come esperti di fenomeni esclusivamente tecnici, mentre la demografia si occupava di scoprire le regole del cambiamento della popolazione. La crescita e il cambiamento erano considerati il risultato di alterazioni esogene nei valori dei fondamentali, ovvero processi di aggiustamento che facevano seguito a shock esogeni nelle preferenze dei consumatori e nelle tecnologie produttive.

Nel momento in cui la teoria economica ammette il carattere endogeno alla sfera sociale, e quindi l'origine almeno in parte anche economica, dei processi di determinazione delle preferenze e delle tecnologie e forse dello stesso bilancio demografico e quindi riconduce al suo ambito l'analisi della formazione delle preferenze, delle tecnologie, e delle stesse dotazioni fattoriali, anche attraverso la nozione di capitale umano, l'esito delle interazioni degli agenti è definito come il risultato di un processo dinamico che tuttavia assume caratteri spesso indeterminati sia per quanto riguarda la direzione che il tasso del cambiamento. Si ammette necessariamente la pluralità dei possibili risultati dei processi di interazione degli agenti. Il carattere dinamico di ogni configurazione aggregata è sottolineato così come la forte rilevanza di fenomeni di discontinuità e irregolarità. Il cambiamento è intrinseco, ma non si produce certo attraverso processi regolari, con tassi e direzioni prevedibili, ma con frequenti punti di cambiamento radicale e repentine alterazioni delle traiettorie.

Gli agenti della nuova teoria economica, sotto l'influenza crescente del paradigma della complessità, non si limitano infatti ad aggiustare prezzi a quantità e viceversa, ma sono



anche ‘creativi’ ovvero capaci di produrre conoscenza, introdurre attività innovative e reagire ai cambiamenti sociali ed economici alterando le loro preferenze, almeno in particolari condizioni istituzionali e con particolari sistemi di incentivi. L’applicazione della teoria della complessità consente di dare cittadinanza analitica ad un ventaglio di comportamenti umani molto più ampi e soprattutto di integrare la creatività come caratteristica fondamentale dell’azione umana sia a livello individuale che soprattutto a livello sociale. La teoria economica acquista così la capacità di spiegare in modo analiticamente soddisfacente i processi di cambiamento, crescita e sviluppo, anche discontinui e irregolari, pur a costo di una forte riduzione nella presunzione di poter ‘predire’ l’esito dei processi dinamici. In questo contesto la nuova teoria economica riconosce sempre di più la rilevanza dei processi di determinazione collettiva della creatività sia per quanto riguarda l’innovazione intesa come introduzione di nuove tecnologie che la formazione di nuove preferenze. Gli agenti si influenzano e sono interdipendenti anche in quanto comunicano, non solo attraverso il sistema dei prezzi, ma anche attraverso altri meccanismi di comunicazione e altri segnali, tra i quali assume particolare rilievo la definizione collettiva dei processi innovativi. Si può finalmente superare l’individualismo metodologico radicato nell’analisi neoclassica e rendere conto della rilevanza dei processi sociali di determinazione del valore delle nuove iniziative e dei nuovi comportamenti: si può tentare di dare una risposta a domande angoscianti per la teoria economica tradizionale, come ad esempio “Chi è quel fesso che uso per primo il telefono”<sup>2</sup>.

In un sistema economico in cui si ammette la varietà degli agenti e la loro capacità di reciproca determinazione delle preferenze e delle tecnologie, la caratterizzazione dei processi di

---

<sup>2</sup> L’utilità e la produttività del telefono, come in effetti della maggior parte dei beni, sia capitali che di consumo, non è intrinseca, ma estrinseca, in quanto dipende dal numero di persone che ne condividono l’uso. La generazione e il successo di nuove tecnologie e nuove preferenze è allora evidentemente condizionata dal numero di utilizzatori e dalla loro distribuzione nel tempo e nello spazio, con evidenti effetti sulla possibilità di determinarne ex-ante in modo certo il valore economico.

comunicazione e la distribuzione topologica degli agenti diventa un parametro fondamentale. La struttura topologica del sistema economico, e quindi la localizzazione e distribuzione, nella molteplicità degli spazi rilevanti, degli agenti e l'organizzazione dei flussi di comunicazione tra gli agenti innovativi, le regole della comunicazione e dell'interazione nei processi di definizione endogena delle preferenze e delle tecnologie diventano i veri parametri strutturali del sistema, ovvero i veri 'fondamentali, ben più della celebre dotazione originaria di capitale e lavoro. L'equilibrio economico generale si dissolve in una pluralità di punti di attrazione possibili, e raramente raggiunti, rispetto ai quali nondimeno gli agenti fanno piani e progetti, investimenti e scelte che tuttavia non sono perfettamente reversibili. Di fronte al dispiegamento di eventi necessariamente inattesi, vista la moltitudine di azioni in essere ad ogni momento dato, e dunque l'impossibilità di una perfetta previsione di tutte le conseguenze dirette ed indirette delle interazioni in corso, con chiare conseguenze in termini di frustrazione e inadeguata realizzazione delle aspettative, sia in termini assoluti che relativi, gli agenti sono indotti a cambiare e reagiscono anche creativamente al nuovo contesto attraverso un ampio ventaglio di azioni che includono l'introduzione di innovazioni e nuove preferenze. Gli agenti del resto sono influenzati dai caratteri strutturali allorquando scelgono nuove preferenze e nuove tecnologie e fissano prezzi e quantità e tuttavia, così facendo, producono nuova conoscenza, e nuovi comportamenti, nuove preferenze e nuove regole. Dunque modificano i parametri di funzionamento dei mercati e a loro volta si muovono nello spazio multidimensionale delle relazioni e della comunicazione nei mercati dei fattori e nei mercati dei prodotti e soprattutto nella rete di interazioni che ne connotano la capacità di interazione.

La dinamica diventa endogena e permanente in un susseguirsi di processi di aggiustamento creativo e comportamenti adattivi ad un sistema in perenne cambiamento, tipicamente 'path dependent' in quanto risente degli elementi di isteresi in cui

alcuni dati strutturali assumono carattere di reversibilità pur solo parziale e tuttavia, ad ogni momento dato, rende conto degli effetti del comportamento anche creativo degli agenti. La dinamica ‘path dependent’, tipica della complessità, combina così, in modo felice, la comprensione del ruolo del tempo storico, attraverso le categorie di apprendimento e irreversibilità tipiche del determinismo storico con la capacità analitica di rendere conto delle conseguenze non solo della scelta in un contesto dato, a sua volta tipica dell’analisi neoclassica, ma anche della manifestazione più compiuta del del libero arbitrio ovvero della creatività così come essa si manifesta ad ogni momento dato in un processo di determinazione sociale e collettiva, oltre che individuale. Diventa così evidente che ciascuna di esse, separatamente, risulta inadeguata a rendere conto del cambiamento e solo la loro combinazione appare fertile.

Sul piano delle implicazioni di politica economica l’effetto del paradigma della complessità è potente in quanto sottolinea in primo luogo l’indeterminatezza degli esiti dei processi e in secondo luogo la rilevanza fondamentale dei sistemi di interdipendenza. Al liberismo arrogante, certo che la libera interazione sui mercati conduce ad un punto di gravitazione ottimale, e al suo antagonista storico, ovvero il dirigismo che, convinto dell’incapacità dei mercati di produrre effetti positivi, progetta interventi nei sistemi economici con la pretesa di prevederne compiutamente tutti gli effetti, si sostituisce un liberalismo più cauto e più consapevole del potente effetto dei processi di retrodeterminazione dei comportamenti sui dati strutturali, sia sul piano positivo che normativo. L’oggetto stesso dell’intervento pubblico si sposta privilegiando i sistemi di relazione, i meccanismi delle interdipendenze, la struttura e la composizione delle reti di connessione tra agenti e le sequenze dei processi, piuttosto che i meccanismi degli incentivi e i processi di scelta.

In questo modo, del resto, la teoria economica riscopre la fondamentale rilevanza dell'analisi storica. In quanto i caratteri strutturali del sistema sono al tempo stesso determinanti nel plasmare le interazioni e tuttavia suscettibili a loro volta di esserne modificati, l'analisi dei processi di cambiamento strutturale, intesi come il risultato dell'interazione tra elementi di irreversibilità e elementi di flessibilità, diventa centrale. La specificazione dei valori specifici della resilienza dei caratteri strutturali, dei diversi gradi di reversibilità degli elementi del sistema, della diversità dei tempi dei processi di retroazione e soprattutto della loro sequenza diventa un elemento centrale dell'analisi. La riscoperta dell'intrinseca storicità dei processi dinamici diventa acquisizione importante non solo della nuova teoria economica, ma più in generale del processo di adozione creativa del paradigma della complessità da parte di numerose scienze umane, dalla storia, naturalmente, alla sociologia e alla antropologia, fino ad assumere rilevanza nelle stesse scienze esatte laddove la non-ergodicità dei processi dinamici sostituisce sempre più frequentemente le tradizionali assunzioni di perfetta reversibilità di ogni fenomeno fisico.

In effetti la definizione della natura intrinseca dei fondamenti strutturali del sistema, delle regole dell'interazione tra gli agenti e inoltre della specificità degli effetti strutturali dell'interazione e delle loro sequenze temporali è uno dei compiti più ardui e problematici del progetto di ricerca che scaturisce dalla teoria della complessità. Questi aspetti richiedono un lavoro colossale, non solo da un punto di vista teorico, ma anche e soprattutto applicativo, vista la varietà di contesti specifici. Diventa subito evidente che i fattori della resilienza e dell'interdipendenza in campo submolecolare hanno poco a che vedere con quelli propri della genetica o dell'economia. Ove la resilienza fosse sostanziale, le modalità di interazione tra agenti stabili, le possibilità di cambiamento strutturale limitate ad alcune biforcazioni ben definite e di facile preconfigurazione, è evidente che il grande fascino interpretativo della teoria della

complessità si ridurrebbe, e la grande ricombinazione risulterebbe meno fertile di quanto proposto.

Il libro di Taylor è un interessante tentativo di prefigurare per l'appunto alcuni possibili traghetti e passaggi tra la teoria della complessità e un ampio raggio di teorie praticate nelle scienze sociali ed umane. Taylor in realtà ha l'ambizione più alta di elaborare una rappresentazione filosofica della teoria della complessità, mostrando come in realtà proprio la filosofia sia all'origine della teoria della complessità. La teoria della complessità si configura allora come grande discorso post moderno che integra e organizza in un contesto strutturato una varietà di spunti interpretativi, già maturati nelle scienze umane circa la fallacia sia del determinismo storicistico che del razionalismo e la necessità di una riflessione non superficiale sulla incessante trasformazione delle regole dell'interazione che sono all'origine della riproduzione continua di una varietà di mondi possibili, a partire da un elemento centrale ovvero il carattere condiviso, distribuito e sostanzialmente induttivo della conoscenza e della rappresentazione mentale della realtà. In quanto la conoscenza è, prima di tutto, un processo collettivo di rappresentazione e interpretazione, che si produce in un contesto strutturato, sistemico, interattivo e dinamico, a sua volta essa stessa riproduce gli elementi tipici della complessità, ovvero la estrema sensibilità ai processi di interazione sociale e alle regole della comunicazione e la rilevanza dell'interdipendenza tra i caratteri della struttura generale del sapere e i comportamenti degli agenti, identificati nei loro specifici contesti localizzati di azione disciplinare. Così facendo Taylor sembra quasi proporre un affascinante ribaltamento, per cui in realtà il processo di ricombinazione e propagazione generativa della teoria della complessità, in atto da circa cinquanta anni, ha in realtà origine nella filosofia e nell'antropologia per poi trovare nella fisica un punto di aggregazione e quindi ripartire verso la biologia e quindi, anche attraverso la storia, arrivare alle scienze sociali, ritornando così alle scienze umane arricchita e metodologicamente rafforzata. Anzi, per la prima volta dopo il

ricorso sistematico e abusivo a definizioni frustanti, che denotavano la necessità di un superamento di modelli obsoleti e tuttavia ancora in fieri, come per l'appunto post-moderno, la teoria della complessità sembra annunciare un modello interpretativo compiuto e autosufficiente con un'identità autonoma anche nel titolo del programma di ricerca, con una valenza generalista promettente e una straordinaria ricchezza di processi di applicazione e arricchimento in un'ampia varietà di contesti disciplinari diversi.

Proprio la ricchezza di rimandi e interazioni tra campi scientifici e affinamenti metodologici trasversali che caratterizzano l'evoluzione della teoria della complessità, così ben rappresentata da Taylor, offre elementi confortanti circa la possibilità che, dopo il grande fallimento del neodarwinismo, il paradigma della complessità sia sufficientemente fertile e flessibile da completare il grande processo di ricombinazione, riproducendo un processo virtuoso simile in questo al successo della meccanica razionale nel corso del XIX secolo.