

CESARE MARCHETTI

INNOVAZIONE, INDUSTRIA ED ECONOMIA.
UNA ANALISI D'INVILUPPO

Estratto dal volume:

Innovazioni tecnologiche e struttura
produttiva: la posizione dell'Italia
a cura di Gilberto Antonelli

SOCIETA EDITRICE IL MULINO BOLOGNA

CAPITOLO III

INNOVAZIONE, INDUSTRIA ED ECONOMIA. UNA ANALISI D'INVILUPPO

CESARE MARCHETTI*

1. *Introduzione*

Decidere, sempre contiene una componente di previsione. Prevedere è un'arte quasi unicamente legata all'intuito personale, sia pur sostenuto dall'esperienza e dall'intuito collettivo che vien di solito saggiato prima di decidere. Queste procedure possono raggiungere alti gradi di affidabilità e precisione. Il tiro dell'arciere è del tutto intuitivo e risolve complesse equazioni spazio temporali sulla dinamica dei corpi. Non credo però che senza esplicitare queste relazioni nelle equazioni fisiche sarebbe stato possibile mettere un uomo sulla luna. In altre parole, la tendenza dei sistemi socio-economici a divenire sempre più complessi è una dura sfida all'intuito e richiama l'utilità di esplicitare e codificare certe strutture dei meccanismi di scelta.

Presenterò qui alcuni risultati nel campo dell'innovazione, creata ed usata nel contesto di meccanismi sociali stabili, rivelati attraverso un'analisi di sistema di indicatori fisici. La procedura seguita è quella classica delle scienze fisiche, che consiste nell'organizzare i dati sperimentali attraverso gerarchie successive di invarianti. Ticho Brahe misurò con precisione le posizioni dei pianeti nel tempo. Dalle sue tabelle dense di dati, Keplero estrasse i moti ellittici che li organizzavano attraverso degli invarianti cinetici. Newton infine organizzò le ellissi con i suoi invarianti dinamici, le cosiddette leggi di Newton. Questa procedura ha permesso di formaliz-

* *International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg.*

zare ed automatizzare il processo di previsione dei moti celesti, la cui precisione è legata ormai solo a quella dei dati d'ingresso.

La procedura che ho seguito nelle mie analisi consiste nel prendere lunghe serie temporali di dati statistici su indicatori fisici dei processi sociali ed economici, quali numero di oggetti in uso, dimensioni di infrastrutture, quantità energetiche, date a cui certe operazioni sono state effettuate, e cercare invarianti che permettano di organizzarli. L'invariante trovato, di grande generalità e robustezza, è contenuto in certe equazioni di Volterra, e si può esprimere a parole dicendo che i processi economici e sociali possono essere descritti mediante il concetto di competizione tra sottostrutture. Ad esempio, l'evoluzione nel tempo della struttura del mercato energetico risulta dalla dinamica della competizione tra le «sottostrutture» carbone, petrolio, gas, nucleare, in concorrenza tra di loro. L'evoluzione nel tempo (ultimi cento anni) delle frazioni di mercato prese da ciascuna di queste fonti primarie è descritta dalle equazioni di Volterra, con una precisione che se non astronomica, è di certo estremamente imbarazzante. Il fatto, ad esempio, che il parametro dinamico che rappresenta la velocità con cui un'innovazione (ad esempio, il petrolio) viene recepita dal sistema sociale (indicatore: frazione di mercato) rimanga costante all'1% per oltre cento anni, è una sfida certa all'intuizione di chiunque.

I casi esaminati con questa tecnica di analisi sono ormai svariate centinaia, e quelli riportati qui sono una scelta ristrettissima, mirante a quantificare alcuni processi essenziali nella creazione, attuazione, espansione e sostituzione di procedure innovative, e del loro effetto sulle strutture sociali implicate.

2. Metodologia

Non entrerò qui nei formalismi delle equazioni di Volterra, ampiamente trattati nei lavori originali [Volterra V., 1928;

1931] e nelle ramificazioni recenti [Montroll E.W. - Goel N.S. - Maitra S.C., 1971]. La maggior parte delle applicazioni si sono avute nel campo dell'ecologia, dove i concetti di nicchia biologica e di specie interagenti sono sufficientemente ben definiti e quantificabili per permettere un uso corretto delle equazioni.

Un campo meno conosciuto, perché sta emergendo solo ora, è nell'applicazione a classi di fenomeni fisici di tipo collettivo, ad esempio nell'idrodinamica. Anche qui, come nella biologia, si hanno strutture nucleate casualmente (mutazioni) che crescono e si espandono a spese di altre. Anche le crescite apparentemente autonome seguono lo stesso schema.

Poiché tratterò solo casi semplicissimi di competizione, anche se in pratica di grande importanza, userò la soluzione più semplice delle equazioni di Volterra, la funzione logistica, complicandola in sistema nel caso di competizione multipla.

Queste funzioni logistiche erano state identificate già ai primi dell'ottocento come potenti descrittori di cose umane, ed impiegate soprattutto in demografia. Conoscere il sistema concettuale a cui appartengono è però di grande aiuto euristico, per identificare le strutture a cui possono venir applicate.

Queste funzioni in grafico lineare hanno una forma ad S poco adatta a trattamenti geometrici che schematizzino visualmente operazioni complicate. Nella maggior parte degli esempi userò un tipo di ordinata che le «raddrizza». In altre parole invece della relazione $F = 1/[1 + e^{-(at+b)}]$ userò la forma $\log(F/1-F) = at+b$, dove F è la funzione esaminata (ad esempio, frazioni di mercato), t il tempo, a un parametro dinamico e b un cursore temporale, che posiziona il processo nel tempo. Questa forma è anche normalizzata nel senso, ad esempio, che la dimensione del mercato è presa uguale all'unità. Le regole d'uso, compreso il software per il trattamento dei dati con computer possono essere trovati in Nakicenovic [1979].

L'applicazione alla struttura dei mercati energetici è rias-

sunta in Marchetti - Nakicenovic [1979], dove sono riportati una trentina di casi, estratti da un gruppo di circa trecento. L'applicazione ai processi di invenzione ed innovazione è riportata in Marchetti [1980], ed al caso dell'automobile in Marchetti [1983a]. Un'applicazione nell'area scientifica è riportata in Sanford [1983], dove la competizione tra acceleratori di particelle e tra tecniche di misura per eventi, viene trattata in termini di dinamica temporale della distribuzione dei clienti (esperimenti), tra diverse macchine e le diverse tecniche di misura.

Ritornando al problema che ci interessa in questa sede, l'uomo ha da sempre un certo numero di bisogni, che innovazioni tecniche e sociali soddisfano in maniera sempre più efficiente. L'innovazione ha un punto di partenza temporale e spaziale, da cui diverge. Come mostrerò, le tre cose appaiono essere sotto uno stretto controllo sociale sufficientemente stabile da permettere previsioni.

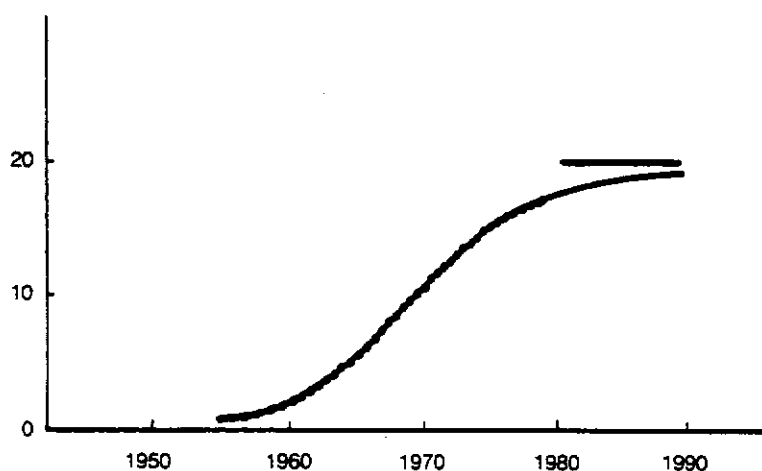
Tanto per illustrare con un esempio, l'uomo è un animale territoriale, e come tale cerca di estendere sempre di più il suo territorio d'uso e di dominanza. Mezzo essenziale a questo fine è il sistema di trasporti che viene progressivamente affinato con innovazioni successive per l'uso più efficiente (veloce), il cavallo, la carrozza, il treno, l'auto, l'aereo, che nucleano ad un certo momento e poi si espandono in competizione e convivenza con le precedenti, che finalmente sostituiscono. Questa competizione, quantificata ad esempio in termini di passeggeri-km per anno per mezzo di trasporto, è benissimo descritta dalle nostre equazioni. Zoomando nel sistema possiamo allo stesso modo descrivere anche la sostituzione delle locomotive a vapore con i diesel nelle ferrovie inglesi.

3. Sull'espansione delle innovazioni

Il fenomeno visibile è l'innovazione alla conquista del mondo. Prendiamo il caso dell'automobile. All'inizio del

secolo era poco più di un giocattolo ad uso di sportivi e di esibizionisti. Ma tra le due guerre, negli Stati Uniti, e dopo la seconda in Europa, l'auto è penetrata con la potenza crescente della valanga. Si potrebbe pensare che il gran numero di forze contrastanti che hanno generato questo sviluppo, abbiano prodotto qualcosa di tumultuoso, complesso ed imprevedibile. Niente di più falso.

FIG. 1. *Popolazione di automobili in Italia* (in milioni di unità)

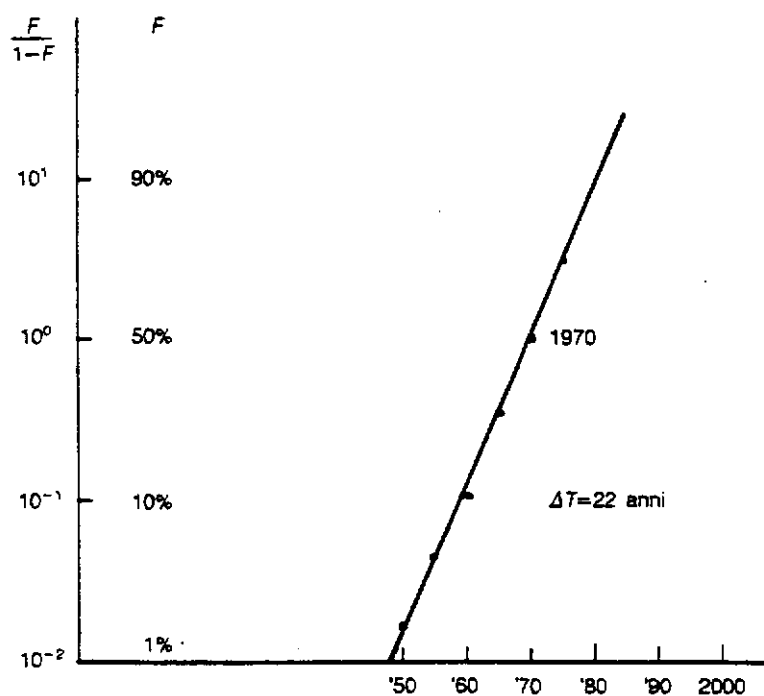


Fonte: Marchetti [1983a], su dati MVMA [vari anni]

Nella figura 1 è riportato lo sviluppo del parco macchine in Italia. Il grafico è lineare ed esprime semplicemente il numero di macchine immatricolate in funzione del tempo. La curva interpolante i dati statistici è una logistica. La pulizia di questa curva ricorda molto un'orbita planetaria. Alti e bassi dell'economia, paure energetiche, pubblicità e modelli da favola, niente sembra perturbare il ritmo di crescita. Esso appare così fermo ed introspetto che si può calcolare intrinsecamente, cioè dalla sua dinamica interna, il punto di saturazione.

zione, cioè il numero massimo di macchine cui il parco tende. La stessa curva è riportata in forma linearizzata in figura 2, caratterizzata da alcuni indicatori:

FIG. 2. Numero di auto registrate in Italia (20M)*



* La cifra in parentesi nel titolo indica il livello di saturazione calcolato; F è la frazione di questo livello raggiunta; ΔT è la costante di tempo, cioè il tempo per andare dal 10% al 90% del livello di saturazione

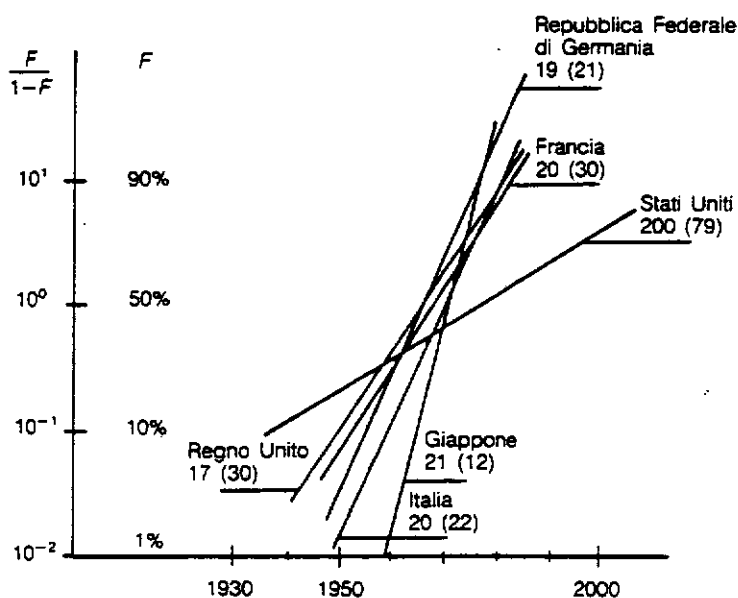
Fonte: Marchetti [1983a], su dati MVMA [vari anni]

a) la costante di tempo, cioè il tempo necessario per penetrare da 1% a 50% del livello di saturazione o da 10% a 90%, che può essere considerato più significativo da un punto di vista industriale e commerciale;

- b) la data a cui attraversa l'1% che può venir considerata come il punto di partenza «ufficiale» della penetrazione;
- c) la data a cui attraversa il 50% che corrisponde al momento di massima espansione;
- d) il livello di saturazione che appare intrinseco al sistema o come tale fin dall'inizio percepito dal sistema stesso.

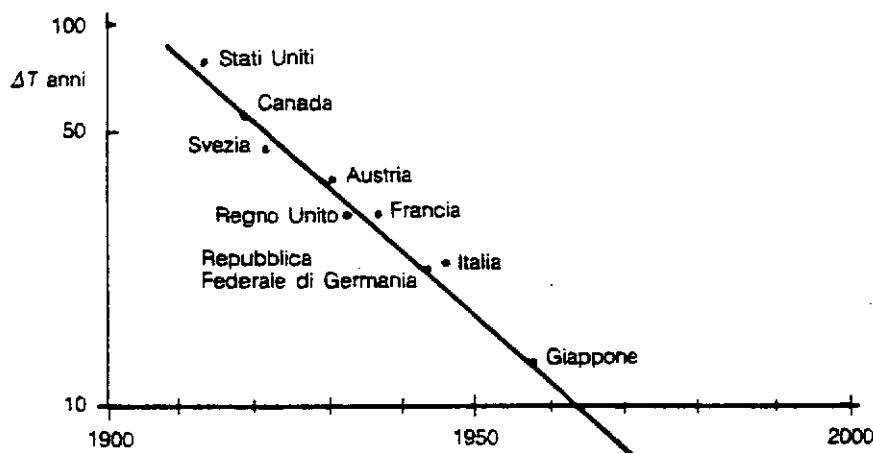
Le varie cose penso siano semplici ed accettabili, salvo il concetto di saturazione intrinseca, che corrisponde al concetto di nicchia biologica, chiarissimo ed ovvio in ecologia, ma difficile da incorporare nel contesto dell'etica volontaristica che caratterizza la civiltà industriale. In sostanza sembra che esista un substrato fisico del mercato che si comporta come

FIG. 3. Popolazione di automobili in sei differenti paesi espressa come percentuale del livello di saturazione*



* I numeri in parentesi rappresentano le costanti di tempo; quelli che li precedono i livelli di saturazione in milioni di automobili
 Fonte: Marchetti [1983a], su dati MVMA [vari anni]

FIG. 4. Relazione tra costanti di tempo (ΔT) ed anno in cui la popolazione di automobili era all'1% del livello di saturazione*



* La costante di tempo ΔT rappresenta il tempo in anni perché la popolazione di vetture vada dal 10% al 90% del livello di saturazione

Fonte: Marchetti [1983a], su dati MVMA [vari anni]

una variabile indipendente, e che tutti si arrabbattino per riempire lo spazio che si fa via via disponibile.

La penetrazione dell'auto nelle varie nicchie nazionali segue naturalmente le stesse modalità, ovviamente con diverse date di partenza e diverse costanti di tempo per la penetrazione. La situazione nelle maggiori nazioni industriali è riportata sinotticamente in figura 3. Come si vede chi parte più tardi ha costanti di tempo più brevi, e ci sono molte buone ragioni per spiegarne le cause. Meno intuitivo è il legame funzionale stretto tra le date di partenza (1% della saturazione) e la costante di tempo, legame riportato in figura 4.

Il rigore di questo ulteriore vincolo è un osso duro da interpretare. Anche perché non vale solo per l'auto, ma anche per altre tecnologie innovative. Tutto avviene *come se* ci fosse un ordine internazionale né scritto né imposto, ma puntigliosamente eseguito ed estremamente stabile nel tempo. Nel

caso dell'acciaio la correlazione «tiene» per trecento anni. Naturalmente con un diverso parametro per la decrescita esponenziale.

Una delle conseguenze dei fatti descritti in figura 3 è che nei maggiori mercati il parco macchine satura più o meno allo stesso tempo, un fatto di grande importanza per la dinamica dell'industria automobilistica.

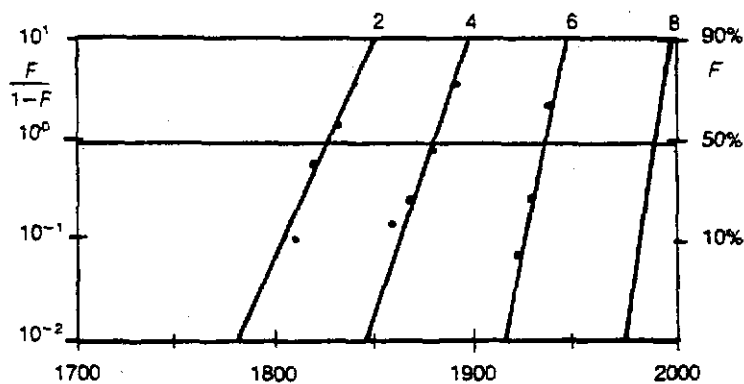
Questo rapidissimo excursus dovrebbe servire a dare una prima idea sull'esistenza di strutture invarianti *all'interno* del flusso tumultuoso che intuitivamente percepiamo. Gli esempi sono tratti da una ricca casistica.

4. Sulla nascita delle innovazioni

Da uno studio molto accurato sulle innovazioni di base che il Professor Mensch [1975] dell'Università di Berlino fece una decina di anni fa, appare chiaro che il processo non è descrivibile come un crescendo con brio, ma è fortemente pulsante nel tempo. In altre parole, le innovazioni apparse negli ultimi duecento anni sono raggruppate in tre periodi di tempo, ben separati tra loro. Secondo la definizione di Mensch, che io ho ripreso insieme al suo materiale statistico, la data di partenza di un'innovazione è quella in cui fu iniziata la produzione commerciale.

Quello che ho scoperto è che questi impulsi sono precisamente strutturati, come mostrato in figura 5, dove il numero cumulativo di innovazioni, espresso come frazione del totale nell'impulso, è riportato nelle stesse coordinate usate in figura 3. Ciascun impulso è così caratterizzato dai soliti indicatori: costante di tempo, data centrale, date di partenza e saturazione. Le date centrali sono distanti 54-55 anni, e le costanti di tempo decrescono secondo una relazione analoga a quella per le auto, il che permette di costruire gli impulsi successivi. Il prossimo impulso, all'interno del quale già ci troviamo, è riportato in figura 5 col numero 8.

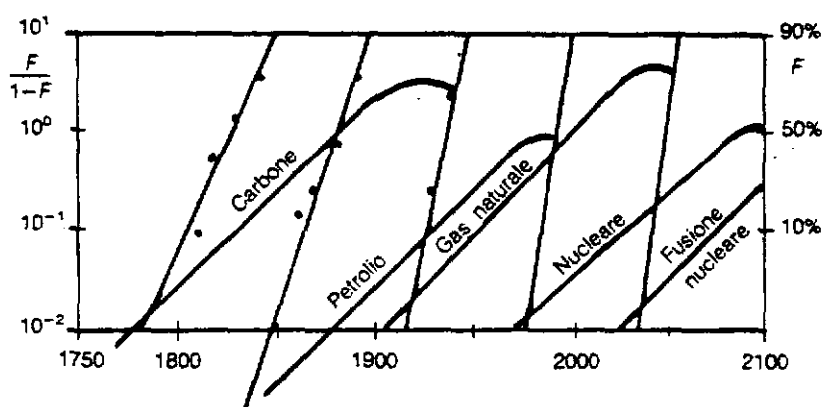
FIG. 5. Quadro sinottico delle ondate innovative



Fonte: Marchetti [1980], su dati mensili

Il fatto che l'insieme delle innovazioni sia così precisamente organizzato nel tempo suggerisce, da un lato l'esistenza di feedback di controllo sociale tutti da scoprire, dall'altro fornisce preziosi indizi applicativi nel campo delle previsioni a lungo termine, come vedremo in seguito.

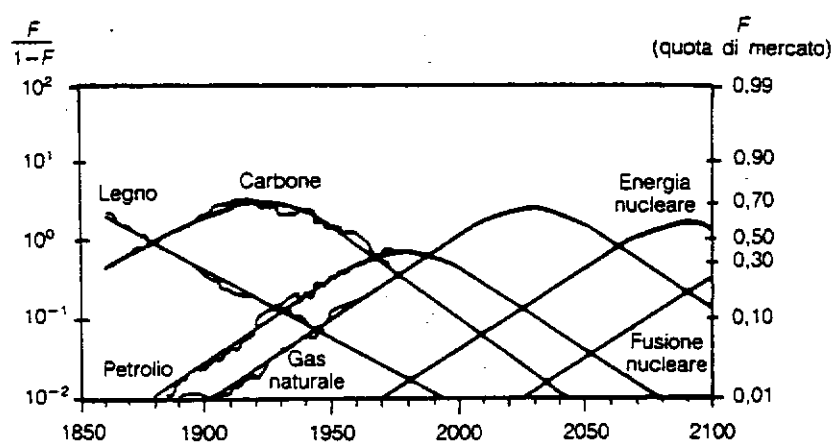
FIG. 6. Relazione tra ondate innovative e introduzione di nuove fonti di energia primaria



Fonte: Marchetti [1980], su dati mensili e Marchetti-Nakicenovic [1979]

Molti fenomeni di carattere tecnico-economico si intrecciano con le curve di figura 5. Ad esempio, ad ogni ondata di innovazioni è associata l'introduzione di una nuova fonte energetica primaria, che in certo senso la inaugura, come mostrato in figura 6. Gli spezzoni di linea aggiunti rappresentano la penetrazione sul mercato mondiale delle fonti primarie di energia, carbone, petrolio, gas e nucleare. Come si vede quest'ultimo è agganciato al punto giusto sulla curva calcolata per il prossimo round di innovazioni. Incidentalmente il round successivo partirà nel 2025, il che lascia poco spazio alle energie «nuove» di cui tanto si è parlato negli ultimi anni. Questa penetrazione, e la spartizione del mercato che ne segue, è descritta precisamente dalle equazioni di Volterra, e riportata in figura 7, più che altro per mostrare la grande

FIG. 7. Sostituzione tra le fonti primarie di energia a livello mondiale^a



^a Questo grafico riporta la dinamica delle quote di mercato delle varie fonti, espresse in termini energetici. Tali quote sono riportate in chiaro in ordinata a destra per facilitare la lettura del grafico

Fonte: Marchetti-Nakicenovic [1979], aggiornato nel 1982 per la fusione nucleare

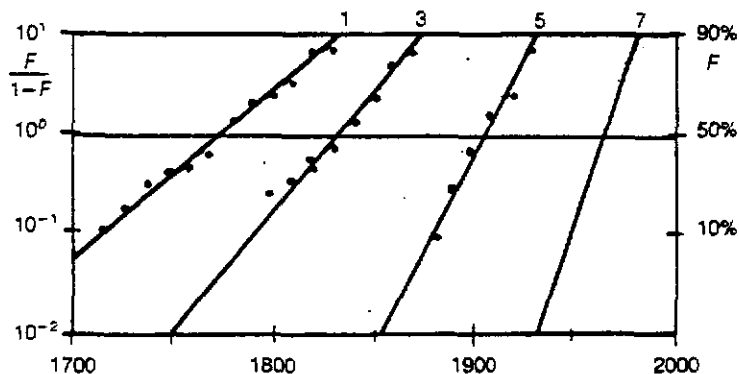
stabilità del processo dinamico su periodi di tempo dell'ordine del secolo, «impegnati» da guerre, rivoluzioni, depressioni e innovazioni di ogni sorta e specie.

5. Sulle invenzioni

Tutte le mie analisi, come avrete ormai notato, sono di carattere fattuale. Mi sforzo semplicemente di organizzare i dati statistici senza chiedere i perché o i per come. È un tipo di analisi di carattere kepleriano a cui sono dovuto ricorrere per sfuggire all'abbraccio soffocante delle «spiegazioni». Dopotutto anche Keplero dovette cominciare col far fuori una marea di angeli indaffarati a manovrare i macchinismi celesti. Non parlerò perciò delle pene dell'inventore e delle luci dell'ispirazione, ma solo delle tracce tangibili.

Il Professor Mensch sceglie tra le invenzioni solo quelle che si sono concretate in innovazioni, cioè in industrie, seguendo qui il concetto darviniano del successo come elemento di selezione. La data che caratterizza l'invenzione è

FIG. 8. Quadro sinottico delle ondate di invenzioni*



* Sono state considerate solo le invenzioni che sono sfociate in una innovazione, cioè in una nuova industria

Fonte: Marchetti [1980], su dati mensili

quella in cui un prototipo ha cominciato a funzionare. Anche per le invenzioni vengono individuati tre gruppi, che analogamente al caso delle innovazioni ho organizzato in figura 8. Anche qui ho aggiunto una linea calcolata, che rappresenta il gruppo di invenzioni le quali confluiranno nelle innovazioni della prossima ondata riportata in figura 5.

Sia ben chiaro che io non so quali queste invenzioni siano, sono tutte «scatole nere» che saranno aperte dal successo imprenditoriale durante i prossimi vent'anni. So però quando sono state realizzate, e questo lo posso calcolare grazie all'estrema stabilità dei sistemi di autoregolazione della nostra società, svelati dall'analisi dei precedenti trecento anni.

Come appare dalla figura 8, anche nel caso delle invenzioni le linee diventano sempre più verticali, il che indica una concentrazione su tempi sempre più ristretti dell'attività inventiva, come di quella innovativa, con periodi frenetici intramezzati da calme tropicali.

Un'altra cosa curiosa, già osservata dal Mensch, è che i gruppi di invenzioni e di innovazioni, sono ordinati, nel senso che se l'invenzione *a* precede quella *b*, anche l'innovazione *A* precederà quella *B*. Questa proprietà può servire, come vedremo, nella pianificazione.

6. *Quid ad bonum*

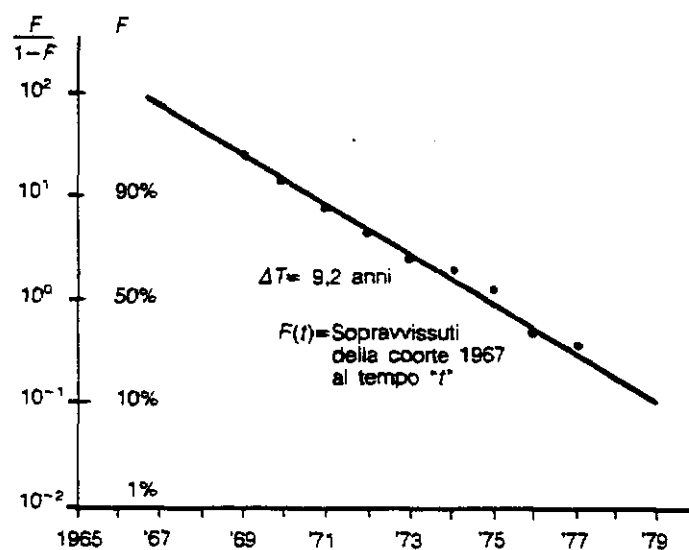
L'analisi molto stringata che precede, mostra come la nostra società non è da classificarsi tra i molluschi, ma piuttosto tra i vertebrati, con ossoni, ossetti ed ossicini, che la quantificano e la modularizzano. Penso sia interessante per un uditorio di attori nel campo economico e politico, vedere se sia possibile trovare qualche formula di valore pratico.

Una prima osservazione è che il mercato, inteso come insieme di oggetti esistenti, ad esempio macchine in circolazione, appare dotato di vita propria e di una dinamica intrinseca che ne permette la previsione sia a livello nazionale

che mondiale. Questa struttura pone dei vincoli d'inviluppo utilissimi da conoscere. Molta della sovracapacità del sistema produttivo attuale, ad esempio, avrebbe potuto essere evitata con considerazioni di questo genere.

Per esemplificare ancor più precisamente, analizzerò il caso della domanda di auto sul mercato giapponese. Il parco segue la curva riportata in figura 3. Le macchine acquistate vanno ad aumentare il parco o a sostituire quelle «morte». Occorre dunque anche una curva di mortalità (fig. 9). Me-

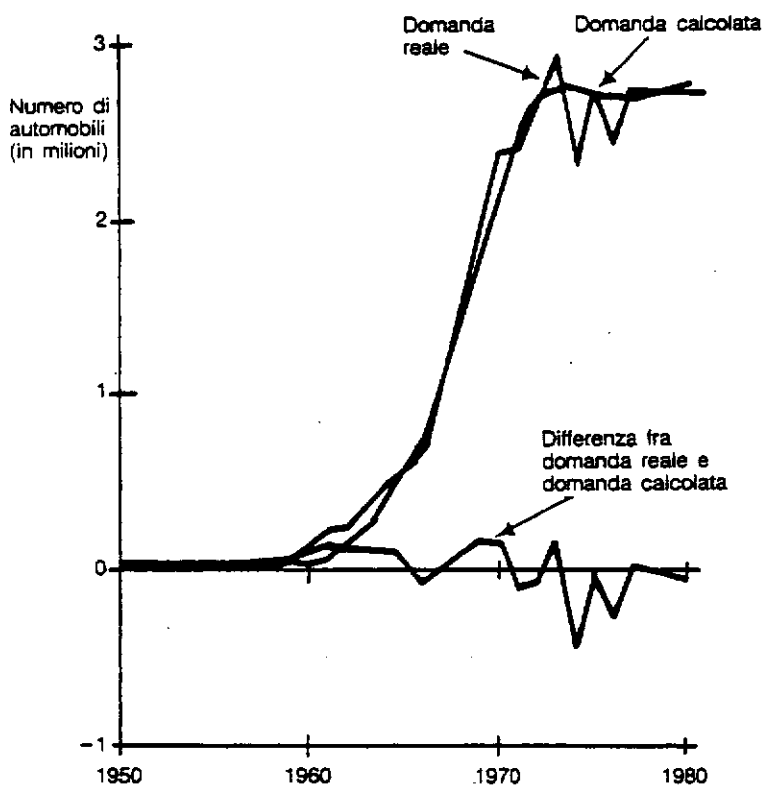
FIG. 9. Curva di mortalità delle automobili negli Stati Uniti*



* ΔT è il tempo che intercorre tra il 90% delle coorti ancora in circolazione ed il 10% ancora in circolazione. Si può identificare con la vita media delle vetture
 Fonte: Marchetti [1983a], su dati R.L. Pack & Co

dante le due si può calcolare una curva di domanda, e confrontarla con la domanda di fatto (fig. 10).

FIG. 10. Nuove immatricolazioni di automobili in Giappone*



* La curva della domanda di auto in Giappone è stata calcolata usando la funzione di crescita (fig. 3) e quella di mortalità (fig. 9) con una vita media di 8 anni
Fonte: Marchetti [1983a]

Come si vede la domanda di fatto oscilla intorno a quella calcolata, ma la segue sul lungo termine, fornendo dunque un'indicazione essenziale per quello che riguarda gli investimenti. Vien naturale qui chiedersi che succede all'esportazione, e dirò che lo stesso tipo di tecnica permette di trattare la competizione sul piano internazionale [Marchetti C., 1983a].

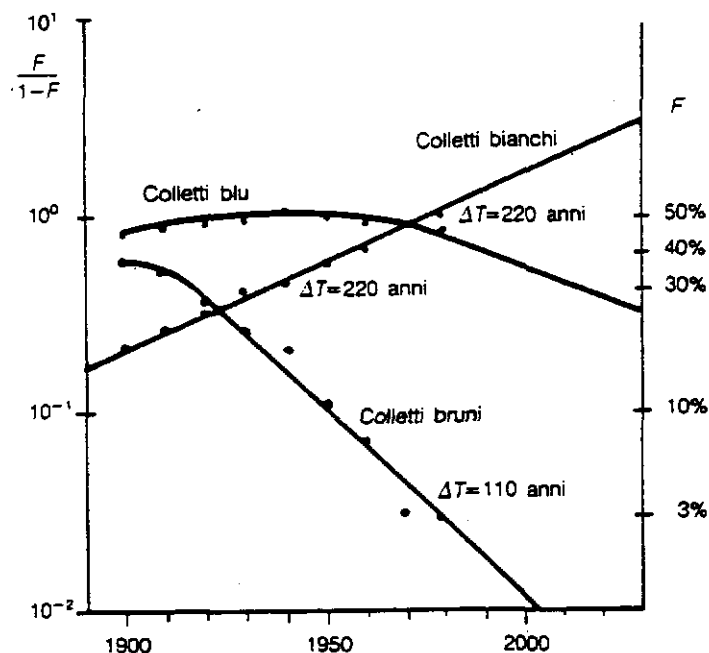
Una terza osservazione, che nasce dalla figura 3, è che il mercato per le auto satura più o meno insieme nei paesi

sviluppati. Questa è una conseguenza della correlazione tra partenze e velocità riportate in figura 4. La saturazione internazionale ha per effetto che l'industria lavora solo per la sostituzione, dunque a produzione costante. Poiché per varie ragioni la produttività continua ad aumentare, l'industria nel suo insieme dovrà progressivamente diminuire l'occupazione. Questo è purtroppo vero per il grosso delle industrie che sono partite con il terzo ciclo nella figura 5 (ad esempio, gli elettrodomestici). Come conseguenza si avrà un'onda di disoccupazione e di recessione. Questo processo, intuito e descritto da Schumpeter, ma non ben provato coi fatti, risulta chiarissimo attraverso le analisi di tipo fisico che ho appena mostrato. La ricetta che ne risulta, e che molti imprenditori hanno intuito e descritto, ma non ben provato, è che bisogna prepararsi ad un lungo periodo recessivo, circa una decina di anni, e che fa d'uopo tirar fuori i panni da inverno. Anche se qualche buona giornata ne tempererà i rigori.

La ragione della lunghezza sta nella periodicità delle ondate innovative, e dunque nel fatto che la prossima si esplicherà in nuove industrie e attività solo durante i prossimi vent'anni. Il brulicare di nuove iniziative che la caratterizza non riesce però ad assorbire abbastanza disoccupazione da compensare quella generata dal vecchio sistema saturo.

Le innovazioni del prossimo round sono come ho detto in busta sigillata. Però l'autoconsistenza del sistema permette di farsene delle idee. Ad esempio, l'affermazione che salteremo dentro una società post-industriale fatta tutta di servizi (quali?) con l'industria ridotta ad un ruolo tipo agricoltura, appare molto affrettata. Basta guardare con la solita lente di Volterra all'evoluzione dell'occupazione negli Stati Uniti. Si considerino le tre seguenti categorie: colletti bianchi, colletti blu (industrie e servizi che implicano attività fisica, ad esempio, la polizia) e colletti bruni (agricoltura) (fig. 11). Sono curiose le elevate costanti di tempo, che mostrano come il processo di sbiancatura dei colletti sia certo in atto, ma molto lento, e la cosiddetta società post-industriale debba

FIG. 11. *Dinamica delle professioni negli Stati Uniti**



* In questa figura è stata riportata la dinamica degli impieghi negli Stati Uniti negli anni '80; la classificazione per categorie di addetti è ripresa dalla fonte citata; F rappresenta la frazione della forza lavoro

Fonte: Nostre elaborazioni su dati Department of Commerce [vari anni], *Historical Statistics of United States*

aspettare ancora un paio di cicli o circa un secolo, prima di essere definitivamente installata.

Il fatto che invenzioni e innovazioni si presentino pressappoco nello stesso ordine offre una possibilità interessante per la pianificazione dello sviluppo e della commercializzazione. Identificata un'invenzione che si stima interessante (questa valutazione la lascio all'imprenditore) e localizzata la data in cui è stata realizzata sperimentalmente per la prima volta (prototipo funzionante), si cerca in figura 8 la posizione che occupa nella serie (altezza della linea di invenzione a quella

data). Nella linea di innovazione della figura 5 la commercializzazione si troverà alla stessa altezza, il che permette di ridiscendere alla data. Sarà così definito il tempo disponibile per lo sviluppo all'investimento produttivo. A posteriori questa procedura avrebbe avuto un 95% di probabilità di successo per le invenzioni e le innovazioni descritte nelle figure 8 e 5. Naturalmente non dice se l'invenzione scelta è valida o no. L'esercizio è svolto dettagliatamente in Marchetti [1982].

7. Conclusioni

A questo punto credo di dover tirare i remi in barca e chiudere con alcune considerazioni d'insieme.

Spero che il materiale presentato, di necessità ristretto, sia stato però sufficiente a mostrare come la nostra società occidentale sia fortemente strutturata e regolata, e come molte di queste strutture siano descrivibili con artifici semplici, quali le equazioni della competizione proposte da Volterra. La scelta dei parametri da misurare rimane però ancora un'operazione artistica, come in fisica d'altronde.

Un'altra caratteristica, che in parte deriva dalla strutturazione e regolazione, è l'estrema stabilità nel tempo dei modi di comportamento. È questo secondo fatto che permette un *forecasting* a lungo termine. Naturalmente non sui dettagli ma sugli sviluppi. Queste specie di mappe topografiche possono esser poi utilizzate per definire cammini ottimali, una volta stabilito dove si vuol andare. Ultima osservazione. Tutta la mia analisi non include una sola volta il concetto di denaro. Con questo non intendo certo negare la sua esistenza od importanza. Voglio solo affermare che gli *oggetti fisici descritti presentano una ordinabilità intrinseca* che non implica, anche se non esclude, interventi metafisici. Keplero e i suoi angeli disoccupati ci ripiovono addosso.

Riferimenti bibliografici

- Marchetti C. (1980), Society as a Learning System: Discovery, Invention and Innovation Cycles Revisited, *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 18, pp. 267-282.
- (1982), When Will Hydrogen Come, WP-82-123, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- (1983a), The Automobile in a System Context - The Past 80 Years and the Next 20 Years, *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 23, pp. 3-23.
- (1983b), Recession 1983. Ten More Years to Go?, *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 24, pp. 331-342.
- Marchetti C. - Nakicenovic N. (1979), The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model, RR-79-13, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Mensch G. (1975), *Das Technologische Patt*, Frankfurt am Main, Umschau Verlag; ed. inglese: *Stalemate in Technology. Innovation Overcome the Depression*, Cambridge, Mass., Ballinger Pub. Co., 1979.
- Montroll E.W. - Goel N.S. - Maitra S.C. (1971), On the Volterra and Other Nonlinear Models of Interacting Populations, *Review of Modern Physics*, vol. 43, n. 2, Part 1, pp. 231-276.
- MVMA (vari anni), *World Motor Vehicle Data*, Detroit, Michigan, Motor Vehicle Manufacturers Association of the United States, Inc.
- Nakicenovic N. (1979), Software Package for the Logistic -Substitution Model, RR-79-12. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Sanford W.L. (1983), Trends in Experimental High-Energy Physics, *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 23, pp. 25-40.

- Volterra V. (1928), J. Conseil Permanent Intern. Exploration Mer III, 1; ed. inglese in Chapman R.N. (ed.), *Animal Ecology*, New York, McGraw-Hill, 1931.
- (1931), *Leçon sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie*, Paris, Gauthier-Villars.