

PROFESSIONAL PAPER

INNOVATION, INDUSTRY AND ECONOMY
A Top-Down Analysis

C. Marchetti

December 1983

PP-83-6

Professional Papers do not report on work of the International Institute for Applied Systems Analysis, but are produced and distributed by the Institute as an aid to staff members in furthering their professional activities. Views or opinions expressed are those of the author(s) and should not be interpreted as representing the view of either the Institute or its National Member Organizations.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS
A-2361 Laxenburg, Austria

PREFACE

In this paper Marchetti continues his Keplerian enterprise of simply organising the statistical data "without ever asking why or how". The data he organises have to do with technological innovations, with cars, railways, energy sources and so on - things as familiar to us as the air we breathe. The patterns that emerge, however, are less familiar. They suggest the "possible existence of invariant structures inside the complex flux of things we perceive". They suggest that, far from us controlling our technological environment, these invariant structures work themselves out through us. Such a conclusion Marchetti points out, is "difficult to reconcile with the voluntaristic ethics of the western world".

Michael Thompson
Leader, Core Concepts
Project

INNOVAZIONE, INDUSTRIA ED ECONOMIA -
Una Analisi d'Inviluppo

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 socioeconomici a divenir 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

INNOVATION, INDUSTRY AND ECONOMY
A Top-Down Analysis

Introduction

Decisions always contain an amount of forecasting. Forecasting is an art mostly left to personal intuition, even if, formally, models and charts appear to be used in the process: the modern equivalent of tea leaves.

Personal intuition is usually cross-checked with collective intuition in formal meetings and personal contacts.

These intuitive procedures may reach astonishing levels of precision and reliability. The archer's shot solves complex equations on the dynamics of bodies. I do not think, however, that without explicitating these equations in a formal science, it would have been possible to put a man on the moon.

In other words, the tendency of socio-economic systems to become increasingly complex puts a strain on what intuition can do and calls for a formal explicitation of the basic rules of the game.

What I will present here are some results in the area of innovation, created and exploited in the frame of a stable social context, revealed through an analysis of physical indicators.

Invited paper at the Conference on Technological Innovation,
Milano 2-3 December 1983.

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 formalizzare 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, che competono 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 (es. petrolio) viene recepita dal sistema sociale (indicatore: frazione di mercato) rimane costante all'un per cento per oltre cento anni, è una sfida certa all'intuizione di chiunque.

The procedure which I followed is classical in physical sciences, and it consists in organizing experimental data through hierarchies of invariants. Ticho Brahe measured with outmost precision the position of the planets in forty years of scholarly work. From his tables thick of data, Kepler extracted elliptical orbits which organized them through kinetic invariants. Newton finally "explained" these orbits by introducing higher level dynamics invariants: Newton laws. This procedure permitted a formalization and automatization of the process of forecasting celestial movements, whose precision is now uniquely linked to that of the input data.

As data bases for my analysis I took only long-time series of physical indicators of social and economic activity: number of objects in use (e.g. cars), dimensions of infrastructures (e.g. kilometers of railways), energy quantities (TCE), dates at which certain things have been done. The invariant which I found to organize these data is contained in certain Volterra differential equations. It is of great generality and robustness. It says in words that the dynamics of social and economic structures can be described in terms of competition between substructures.

As an example, the evolution in time of the structure of the energy market results from the competition between the "substructures" wood, coal, gas, oil, nuclear. The evolution during the last hundred years of the market share taken by each of these primary energy sources, is described by Volterra equations with a precision that, if not astronomical, is certainly very embarrassing. The fact that the dynamic parameter representing the rate at which an innovation (oil) is adopted by the social system (market share) stays constant at better than one percent for

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.

Metodologia

Non entrerò qui nei formalismi delle equazioni di Volterra, ampiamente trattati nei lavori originali (1), (2) e nelle ramificazioni recenti (3). 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 es. nell'idrodinamica. Anche qui, come nella biologia, si hanno strutture nucleate casualmente (mutazione) 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 impegnate soprattutto in demografia. Conoscere il sistema

more than a hundred years, and what years, defies the subtlest intuition of the system.

The special cases examined with this technique amount to a few hundred, and the ones reported are a very restricted choice just to quantify some essential processes in the creation, exploitation, expansion and substitution of innovative procedures, and of their effects on the social structures.

Basic Methodology

I will not enter into the formalism of Volterra differential equations, brilliantly treated in the original papers (1),(2), and in their later ramifications (3). Most of the applications came in the area of ecology where the concepts of niche and interacting species are sufficiently well defined and relatively easy to quantify.

An area less known because it emerges just now is in the application to "collective" physical phenomena, such as in hydrodynamics. Also here as in the biological case, structures nucleated casually, grow and expand at the expense of others. Also the growth of apparently autonomous structures follow the same scheme.

As I will deal only with extremely simple cases of competition, if in practice very important ones, I will use the simplest solution of Volterra equations, the logistic function, complicated in a system in case of multiple competition.

These logistic functions had been identified already at the beginning of the last century as powerful descriptor of human affairs, and used mainly in demography. To see them through the system to which they belong is, however, of great heuristic

concettuale a cui appartengono però è 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 delle relazione $F=1/(1+e^{-(at+b)})$ userò la forma $\log(F/1-F)=at+b$, dove F è la funzione esaminata (es. frazione 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 es. che la dimensione del mercato è presa eguale all'unità. Le regole d'uso, compreso il software per il trattamento dei dati con computer possono esser trovati in (4).

L'applicazione alla struttura dei mercati energetici è riassunta in (5) dove son riportati una trentina di casi, estratti da un gruppo di circa trecento. L'applicazione ai processi di invenzione ed innovazione è riportato in (6), ed al caso dell'automobile in (7). Un applicazione nell'area scientifica è riportato in (8), 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 oggi, 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.

value to identify the structures to which they can be applied.

These functions have an S shape, not well adapted to the geometrical treatments I will need, so I shall present them in the linearized transform $\log F(1-F)=at+b$, where F is the object examined (e.g. market fraction), a is a dynamic parameter, and b a time adjuster positioning the process in time. In this form the function is normalized to the "niche" taken as unity. The prescriptions and the software for multiple competition analysis are reported in (4).

The application to the structure of energy markets is given in (5) where about thirty cases are reported, extracted from a group of about three hundred which were analyzed. The application to the processes of invention and innovation can be found in (6) and the automobile system in (7). An application to scientific research is given in (8) where the competition between particle accelerators and of measuring techniques is treated in terms of temporal dynamics for the distribution of customers (experiments).

Coming back to the problem of interest today, man since ever had needs that social and technical innovations satisfied in a more and more efficient way. Innovations have a starting point, in time and space, from which they diverge. As I shall show, all the process appears to be under a social control, sufficiently stable to permit forecasting.

Just to give an example, man is a territorial animal, and as such he tries to extend his territory for dominance and exploitation. For this objective, of central importance is the transportation system, continuously improved with innovations that increase speed: horse, train, car, airplane, which "nucleate" at a certain time, and then expand, competing and meshing with

Tanto per illustrare con un esempio, l'uomo è un animale territoriale, e come tale cerca di estender 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 es in termini di passeggeri-km per anno, per modo 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.

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, in America, 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.

Nella Fig. 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,

the previous ones that will finally be superseded. The dynamics of this competition, quantified in terms of passenger-kilometers per year allocated to each transport mode is very well described by our equations. Zooming into the subsystems, one can also describe the substitution process of steam locomotives with diesels in the British railways.

The expansion of innovations

The visible phenomenon is innovation conquering the world. Let us take the case of automobiles. At the beginning of the century they were just toys for sportsmen and exhibitionists. But between the two World Wars, in the United States, and after the Second World War in Europe, automobiles penetrated with the growing impetus of an avalanche. One may think that the great number of contrasting forces which generated this development would have produced a turbulent, complex and unforeseeable outcome. Nothing of that kind.

The development of car population in Italy is reported in Fig.1. The plot is linear and simply gives the number of registered cars as a function of time. The curve interpolating the data is a logistic function. The clean fit strongly remembers that of a planetary orbit. Highs and lows in the economy, energy scares, advertising, fabulous new models, nothing seems to interfere with the rate of growth. It appears so stable and introspected that one can calculate intrinsically, i.e. from the internal dynamics, the saturation point, which means the perceived maximum towards which car population moves. The same curve is reported in Fig.7 in its linearized form, with some characteristic numbers:

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

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.

La data a cui attraversa l'1% che può venir considerata come il punto di partenza "ufficiale" della penetrazione.

La data a cui attraversa il 50% cui corrisponde il momento di massima espansione.

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 comporti come 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

- The saturation point as it is perceived by the system
- The time constant, or the time to go from 10% to 90% of the saturation level (or from 1% to 50%)
- The starting date, when 1% of the saturation level is crossed.

These various definitions appear simple and acceptable, except perhaps for the idea of an intrinsic saturation point "perceived" by the system since the beginning of the penetration. It corresponds to the biological concept of niche, obvious and clear there, but difficult to reconcile with the voluntaristic ethics of the western world. Basically it seems that a physical substrate exists making the size of the market an independent variable, with everybody busily agitating to fill all the space as soon as it is made available.

Penetration of cars in the various other national niches follows the same rules, obviously with different characteristic numbers. The situation for various industrial countries is reported synoptically in Fig.3. It is apparent that last come faster rushes, and there are many good explanations for that. Much more difficult to explain is the fairly precise relationship between the time constant and the starting date as reported in Fig.4.

The strength of this linkage is hard to interpret. Also because it is of general character, i.e. it works also for other technologies. All operates as if there were a kind of international order, not written nor imposed but punctiliously obeyed. And very stable in time. In the case of steel a similar correlation "holds" for three hundred years.

One of the consequences of the facts described in Figs. 3

sinotticamente in Fig.3. Come si vede chi parte più tardi ha costanti di tempo più brevi, e ci sono molte buone ragioni per le cause. Meno intuitivo è il legame spiegarne/funzionale stretto tra le date di partenza (1% della saturazione) e la costante di tempo, legame riportato in Fig.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. E stabilissimo 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 Fig.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 tumultoso che intuitivamente percepiamo. Gli esempi sono tratti da una ricca casistica.

Sulla nascita delle innovazioni

Da uno studio molto accurato sulle innovazioni di base che il Prof. G. Mensch dell'Università di Berlino fece una diecina di anni fa, appare chiaro che il processo/è ^{non} descrivibile come un crescendo con brio, ma è fortemente pulsato nel tempo. In altre parole, le innovazioni apparse negli ultimi duecento anni sono raggruppate in tre periodi di tempo, ben separati tra di loro. Secondo la definizione del 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

and 4 is that on the largest markets car populations saturate more or less at the same time, a fact of great importance for the dynamics of the automobile industry. And for other industries too, as the situations evolve along similar lines.

This first excursus should give an idea of the possible existence of invariant structures inside the confuse flux of things we perceive. The examples are of necessity few, but taken from a large set of them.

On the birth of innovations

From an accurate study which Prof.G.Mensch from the University of Berlin did about ten years ago, it appears that the process of implanting basic innovations is not continuous with growth, but it is strongly pulsed with time. In other words, basic innovations which appeared during the last two centuries, condense into three heaps, fairly well separated. According to Mensch's definitions, which I took together with the statistical material, the starting date for a basic innovation is that when commercial production was initiated.

What I discovered is that these pulses are precise structures, as shown in Fig.5, where the cumulative number of innovations appearing at a certain date is reported as fraction of the total number in the pulse, using the same coordinates as in Fig.2. In other words, the number of innovations grows as if it had to fill a demand as in the case of cars.

Every pulse is then characterized by the usual numbers, the time constant, the central date, the starting date and the saturation level. Central dates are separated by 54-55 years, and the time constants decrease in a way analogous to that of cars,

strutturati, come mostrato in Fig.5, dove il numero cumulativo di innovazioni, espresso come frazione del totale nell'impulso è riportato nelle stesse coordinate usate in Fig.2. Ciascun impulso è così caratterizzato da soliti numeri, 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, all'interno del quale già ci troviamo, è riportato in Fig.5.col numero 8.

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.

Molti fenomeni di carattere tecnico economico si intrecciano con le curve di Fig.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 Fig.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 tante si è parlato negli ultimi anni. Questa penetrazione, e la spartizione del mercato che ne segue, è descritto precisamente dalle equazioni di Volterra, e riportata in Fig. 7, più che altro per mostrare la grande stabilità del processo dinamico su periodi di tempo dell'ordine del

so we can construct the successive pulses. The fourth one, into which--by the way--we live, is reported in Fig.5 under number 8.

The fact that the set of innovations is so precisely organized in time may point to the existence of strict social feedback controls, and also provides precious indications for long-term forecasting, as we will see.

Many phenomena of technical and economic character mesh with the lines of Fig.5. To give an example, to each innovation wave was associated the introduction of a new primary energy, in a sense giving the start as shown in Fig.6. The line segments added represent the market penetration of coal, oil, gas and nuclear at world level. Nuclear appears to start at the right point on the calculated curve for the next round of innovations, which supports its positioning in time. Incidentally, the next energy round is due to start in 2025, which leaves little space for the "new" energies, the talk of the town during the last ten years, and a posteriori, so out of time.

Primary energy market penetration by the way, and the consequent sharing of the world markets between them, is precisely described by Volterra equations, and reported in Fig.7. More than anything else, to show the great stability of the dynamic process over periods of time of the order of a century, polluted with wars, revolutions, depressions, innovations, and you name it.

On the birth of inventions

In all my analyses, as you will have noticed, I strictly stick to facts. I simply try to organize statistical data, without ever asking why and how. It is a type of analysis of

secolo, impestati da guerre, rivoluzioni, depressioni e innovazioni di ogni sorte e specie.

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 perchè o i percome. E' un tipo di analisi di carattere Kepleriano a cui son 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 Prof. Mensch sceglie tra le invenzioni solo quelle che si son concretate in innovazioni, cioè in industrie, seguendo qui il concetto darviniano del successo come elemento di selezione. La data che caratterizza l'invenzione è quella in cui un prototipo ha cominciato a funzionare. Anche per le invenzioni ottiene tre gruppi, che analogamente al caso delle innovazioni ho organizzato in Fig.8. Anche qui ho aggiunto una linea calcolata, che rappresenta il gruppo di invenzioni le quali confluiranno nelle innovazioni della prossima ondata riportata in Fig.5.

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

"Keplerian" character, to escape the quicksands of "explanations". After all, also Kepler had to send to the bread line an army of angels busily manouvering the celestial machinery. So I will not speak of the suffering of the inventor and the lights of inspiration, but only of the tangible traces.

Prof. Mensch chooses among inventions only those which concretized into innovations, i.e. industries, following the Darwinian concept of success as the key to selection. The date characterizing the invention is that of the working prototype. Inventions, like innovations, can be divided into three groups, which I organized in a similar way (Fig.8). Also here I added a calculated line representing the group of inventions that will flow into the last innovations of Fig.5.

It must be clear that I do not know what inventions they are. I can visualize them only as black boxes that will be opened by entrepreneurial success during the next twenty years. I know, however, when they have been done, and that because of the extreme stability of social selfregulation which the analysis of the last three hundred years has brought to light.

As shown in Fig.8, also in the case of inventions the lines become more and more vertical, implying a concentration of the inventive activity over shorter and shorter pulses, as in the case of innovative activity, with frenzy periods alternating with tropical doldrums.

Another curious fact, already observed by Mensch, is that the groups of inventions and innovations are ordered, which means that if invention a precedes in time invention b, then innovation A will precede innovation B. This property, as we will see, can be very useful in planning.

Quid ad bonum

The compact analysis which I presented shows that our society should not be classified between mollusks, as many Italians think, but better between vertebrates, with big, small and tiny bones that quantify and modularize it. I think it will be interesting for economic and political operators to see if some practical hints can be extracted from the horse's mouth.

A first observation is that the market, seen as a set of existing objects, e.g. registered cars, behaves as if it were endowed with a life of his own, and with an intrinsic dynamic that makes forecasting possible both at national and at world level. Such a structure sets "external" constraints very useful to know beforehand. Much of the overcapacity inflicting the world productive system could have been avoided that way. To make this observation more pointed, I will treat the specific case of the Japanese demand for cars. As we have seen, the "population" of registered cars follows the line reported in Fig.3 (J). The purchases of new cars goes into increasing this number or substituting "dead" cars. So we need a mortality curve reported in Fig.9 (coincidentally the same as for animal populations). Using the two we can calculate a demand curve, and compare it with actual demand (Fig.10). During the growth phase actual and calculated demand fit closely. During the saturation phase actual demand oscillates around the calculated one, but follows it on the long term. An essential information to adjust capacity!

One may ask what happens to exports. The same type of analysis holds, and details for the case of automobiles are contained in (7).

Come appare dalla Fig.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 quelle b, anche l'innovazione A precederà quella B. Questo proprietà può servire come vedremo, nella pianificazione.

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, veder se sia possibile trovare qualche formula di valore pratico.

Una prima osservazione è che il mercato inteso come insieme di oggetti esistenti, es. 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 es. avrebbe potuto esser 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 Fig.3 (J). Le macchine acquistate vanno

ad aumentare il parco o a sostituire quelle "morte". Occorre dunque anche una curva di mortalità (Fig.9). Mediante le due si può calcolare una curva di domanda, e confrontarla con la domanda di fatto (Fig.10).

Come si vede la domanda di fatto oscilla intorno a quello calcolata, ma la segue sul lungo termine, fornendo dunque un'indicazione essenziale per quello che riguarda gli investimenti. Vien naturale qui chiedere che succede all'esportazione, e dirò che lo stesso tipo di tecnica permette di trattare l'internazionale e rimando a (7) per dettagli.

Una terza osservazione che nasce dalla Fig.3 è che il mercato per le auto satura più o meno insieme nei paesi sviluppati. Questo è una conseguenza della correlazione tra partenze e velocità riportate in Fig.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'impiego. Questo è purtroppo vero per il grosso delle industrie che son partite con il ciclo N.6 della Fig.5. Ad es. 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 diecina di anni, e che fa d'uopo tirar fuori i panni da inverno. Anche se qualche buona giornata ne tempererà i rigori.

A third consideration can be extracted from Fig.3, showing the car populations saturating more or less at the same time in different parts of the world. This is a consequence of the correlation between starts and speeds as reported in Fig.4. This means industry as a whole works basically for replacement, i.e. a non-expanding market. Because productivity for various reasons keeps increasing, the auto industry has to shed personnel. The sad point is that this is true for most of the industries which started with the cycle No.6 of Fig.5, like the various electric appliances. As a consequence we will have a wave of unemployment and recession. This process, perceived and described but not really proved by Schumpeter, appears very clearly through the analysis of "physicals" which I showed. The consequent recipes, that many entrepreneurs have perceived and described but not really proven, is that we must prepare for a long recessive period, about ten years, waiting for the wave of basic innovations No.8 in Fig.5 to rescue us from the long winter.

The reason of the length of the recession period resides in the periodicity of the innovation waves, and the fact that the next wave will explicitate new industries and new activities during the next twenty years. The beginning of new activities that will characterize this period, because they start small, will not be capable of absorbing enough unemployment to compensate for the old saturated system (11).

The innovations of the next round are in sealed envelopes. But the selfconsistency of the system permits certain evaluations. To give an example, the current statement that we will jump into post-industrial society made only of services (what services?) with industry reduced to the role of agriculture today, appears a little

La ragione della lunghezza sta nella periodicità delle ondate innovative, e dunque nel fatto che la prossima si espliciterà in nuove industrie e attività solo durante i prossimi venti anni. Il brulicare di nuove iniziative che la caratterizza non riesce però ad assorbire abbastanza disoccupazione da compensare quella generata dal vecchio sistema in 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 postindustriale fatta tutta di servizi (quali?) con l'industria ridotta ad un ruolo tipo agricoltura, appare molto affrettata. Basta guardare con la solita lente Volterrian all'evoluzione dell'occupazione negli USA. Ho preso le tre categorie: colletti bianchi, colletti blu (industrie e servizi che implicino attività fisica, es. polizia) e colletti bruni (agricoltura), riportando sul solito grafico (Fig.11). Sono curiose le elevate costanti di tempo, che mostrano che il processo di sbiancatura dei colletti è certo in atto ma molto lento, e la cosiddetta società post-industriale dovrà aspettare ancora un paio di cicli o circa un secolo, prima di esser definitivamente installata.

Il fatto che invenzioni e innovazioni si presentino presso a poco 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 Fig.8 la posizione che occupa nella serie (altezza della linea di invenzione a quella data). Nella

futuristic. We just need to look with our Volterrian telescope at the evolution of occupation in the States. I took three categories only, to make things simple: white collars, blue collars and brown collars (agriculture). The share between the three is reported in Fig.11. What is remarkable is the high time constant for the whitening of the blue collars: 220 years. Because they are now fifty-fifty, it will take another century for the white collars to overcome (90% of the working force). The "post-industrial society" is not around the corner, even in terms of occupation.

Fourth consideration: the fact that inventions and innovations present themselves roughly in the same order lends important insights for planning their development and commercialization. Once a promising invention has been identified, and this is something I leave to the entrepreneur, the date when the prototype worked has to be identified. Through that date one enters in Fig.8 the rank of the invention (height on the invention line at that date). In the innovation line in Fig.5, the same height corresponds to the date of commercialization. So the time available for development and investment will be precisely defined.

The procedure appears a little magic, but applied a posteriori it gives 95% probability of success for the invention-innovations of the last three hundred years. Naturally, the procedure does not say if the invention is a good one. This exercise is shown in detail in (9).

linea di innovazione della Fig.5 la commercializzazione si troverà alla stessa altezza, il che permette di ridiscendere alla data. Sarà così definito il tempo disponibile per lo sviluppo a l'investimento produttivo. A posteriori questa procedura avrebbe avuto un 95% di probabilità di successo per le invenzioni e innovazioni descritti in Fig.8 e 5. Naturalmente non dice se l'invenzione scelta è valida o no. L'esercizio è svolto dettagliatamente in (9).

Conclusioni

A questo punto credo dover tirar 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. E' questo secondo fatto che permette un forecasting a lungo. Naturalmente non sui dettagli ma sugli involuppi. Queste specie di mappe topografiche possono essere 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.

Conclusions

At this point I think I should pull back and conclude with some general considerations.

I hope the material presented, if by necessity restricted, is however sufficient to show that our western society is strongly structured and regulated, and that many of these structures are describable with simple mathematics. As the equations for competition proposed by Volterra. The choice of the significant parameters, however, is still an artistic operation, as in the case of physics, by the way.

Another property, partly derived from such structuring and regulation, is the extreme stability of behavior. This permits long-range forecasting. Obviously not on details, but on envelopes. This kind of topographic maps can then be used to determine optimal paths, once we know where to go.

Last observation: all my analyses never include the concept of money. I do not wish that negate its existence and importance. I do implicitly affirm, however, that physical objects present an intrinsic ordinability which does not imply nor exclude metaphysical interventions. Kepler and his unemployed angel falling over us again.

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.

Literature

- (1) Volterra, V. (1928). J. Conseil Permanent Intern. Exploration Mer III, 1; translated in Animal Ecology, by R.N. Chapman (McGraw-Hill, New York, 1931)
- (2) Volterra, V. (1931). Lecon sur la theorie mathematique de la lutte pour la vie (Gauthier-Villars, Paris).
- (3) Montroll, E.W. N.S. Goel, and S.C. Maitra. On the Volterra and Other Nonlinear Models of Interacting Populations. Reviews of Modern Physics, Vol.43, No.2, Part 1, April 1971. pp. 231-276.
- (4) Nakicenovic, N. (1979). Software Package for the Logistic Substitution Model. RR-79-12. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- (5) Marchetti, C., and N. Nakicenovic (1979). The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model. RR-79-13. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- (6) Marchetti, C. (1980). Society as a Learning System: Discovery, Invention and Innovation Cycles Revisited. Technological Forecasting and Social Change 18, 267-282.
- (7) Marchetti, C. (1983). The Automobile in a System Context - The Past 80 Years and the Next 20 Years. Technological Forecasting and Social Change 23, 3-23.
- (8) Sanford, W.L. (1983). Trends in Experimental High-Energy Physics. Technological Forecasting and Social Change 23, 25-40.
- (9) Marchetti, C. (1982). When Will Hydrogen Come. WP-82-123. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- (10) Mensch, G. (1975). Das Technologische Patt. Umschau Verlag, Frankfurt/Main, FRG. For details on how the data have been selected, the German edition is preferable to the English edition: Stalemate in Technology, Ballinger Pub.Co., Cambridge, Mass., 1979.
- (11) Marchetti, C. (1983). Recession 1983. Ten More Years to Go? Technological Forecasting and Social Change (in press).

Figure 1.
CAR POPULATION IN ITALY
(IN MILLIONS)

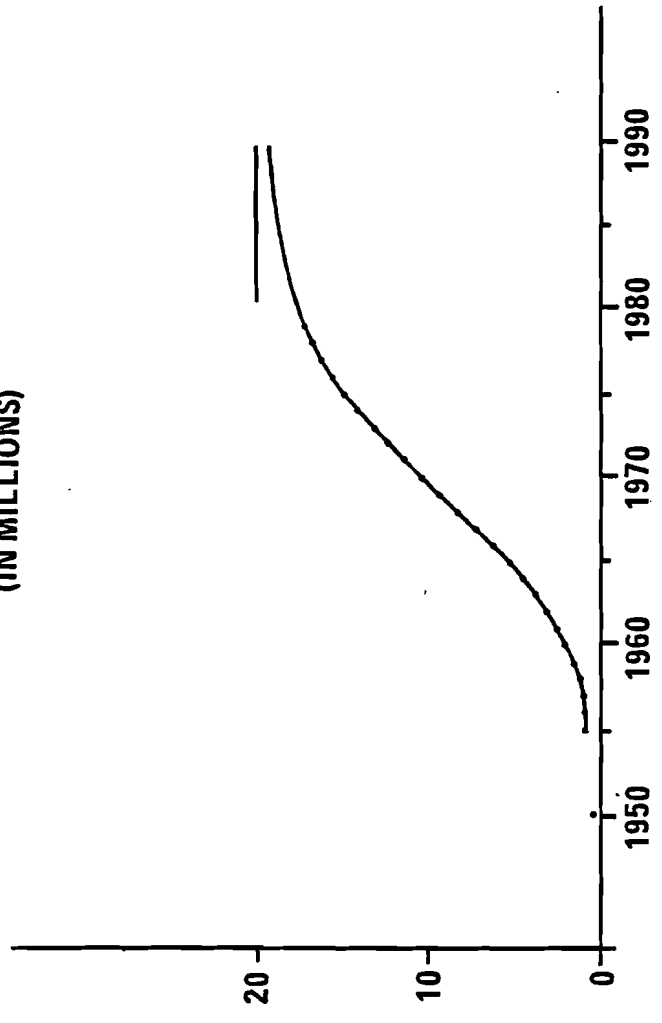


Figure 2.

CAR REGISTRATION - ITALY (I) (20M)

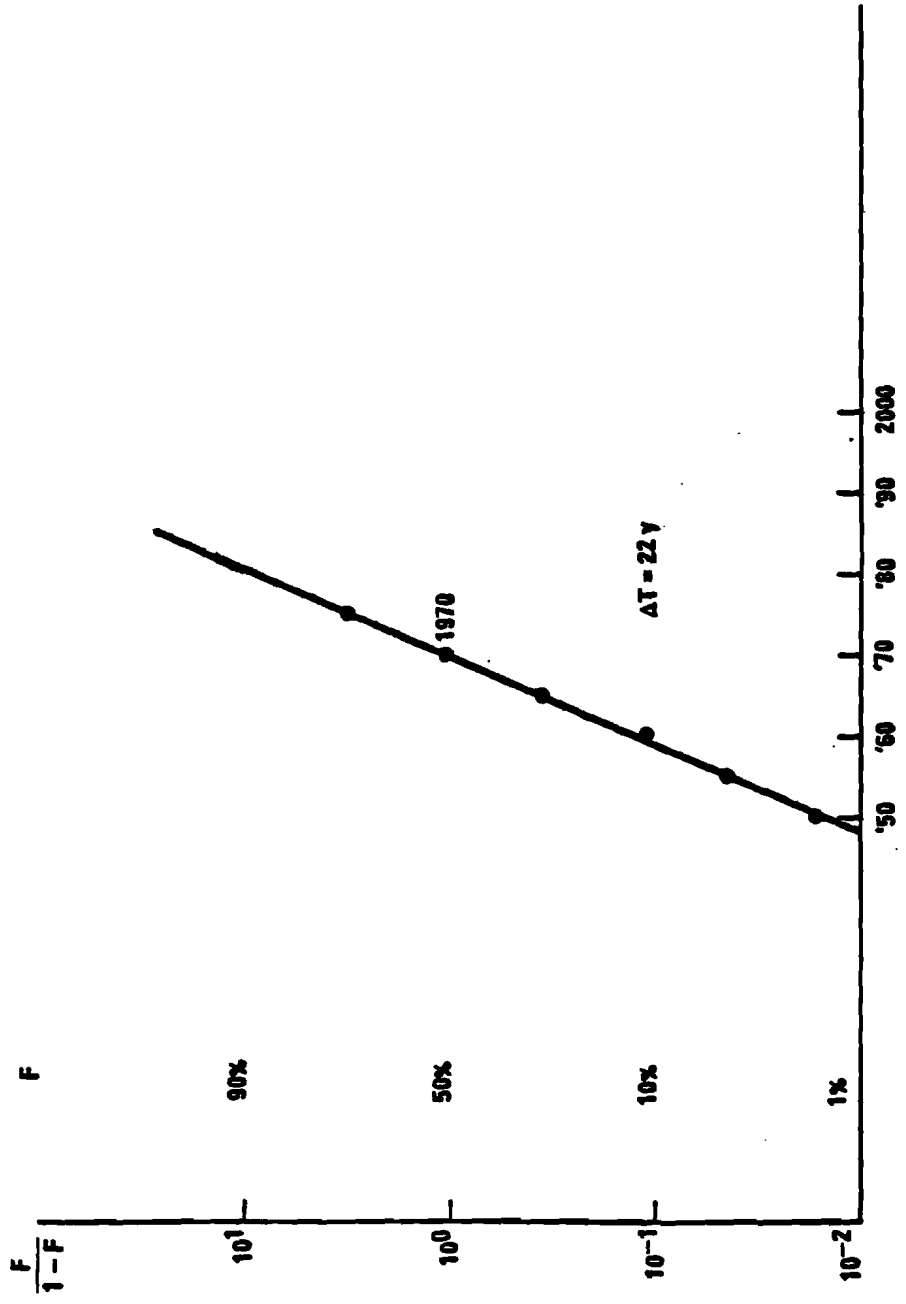


Figure 3.

CAR POPULATION IN SIX DIFFERENT COUNTRIES
AS PERCENTAGE OF SATURATION LEVEL

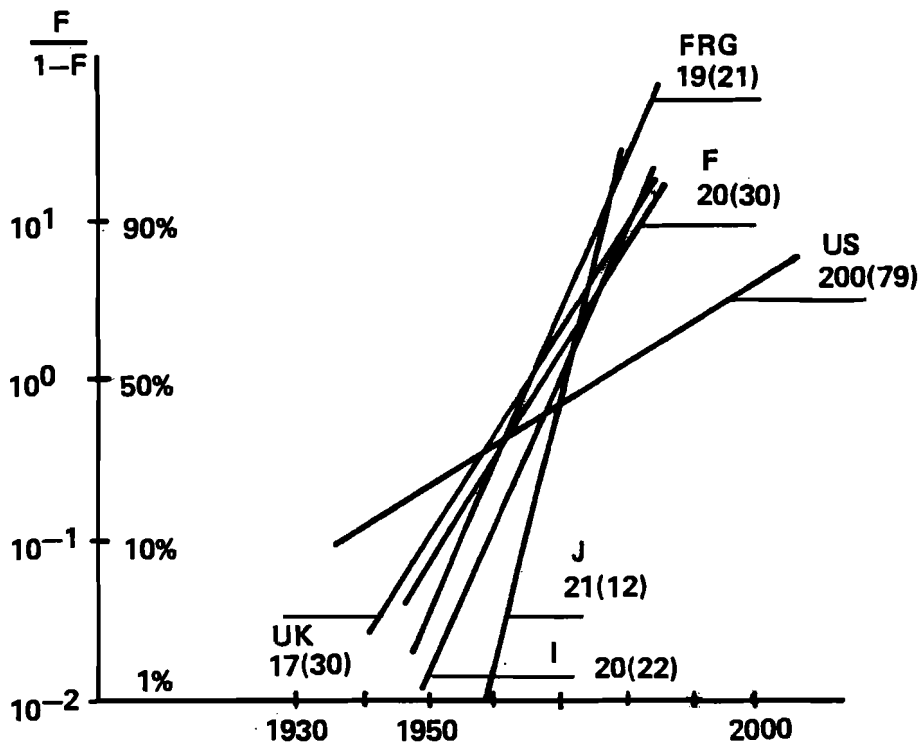


Figure 4.

RELATION BETWEEN ΔT AND TIME WHEN CAR POPULATION WAS 1% OF SATURATION

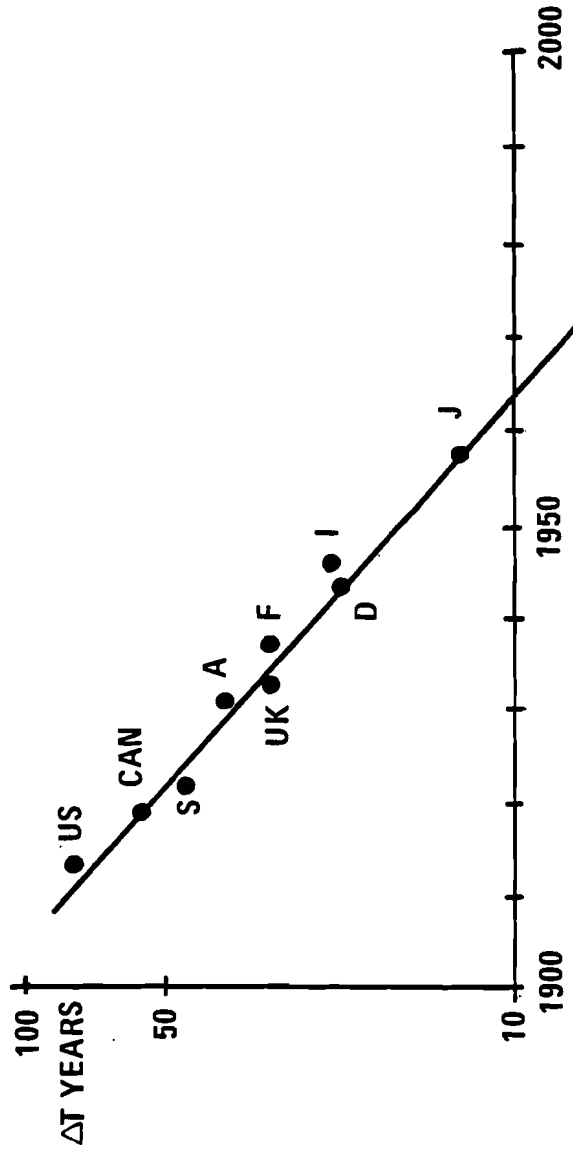


Figure 5.

INNOVATION WAVES – THE SECULAR SET

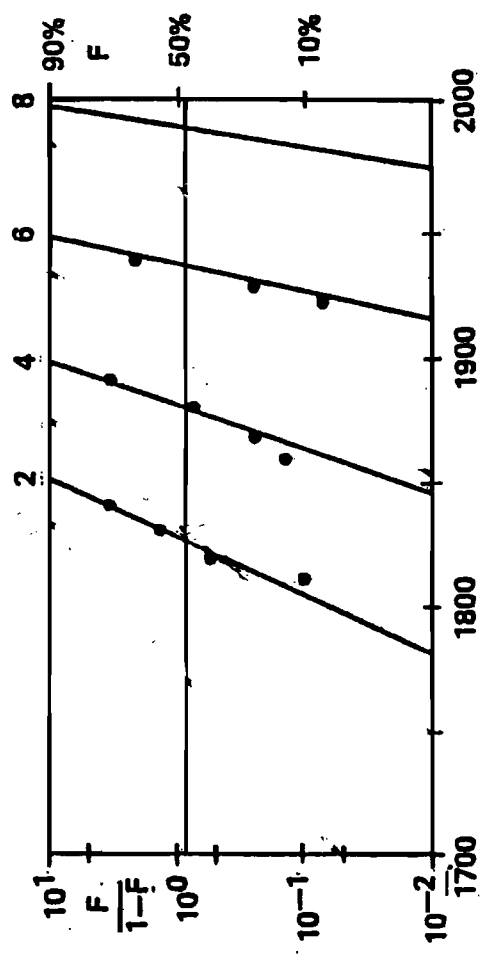


Figure 6.

INNOVATION WAVES AND THE START OF NEW ENERGY SOURCES

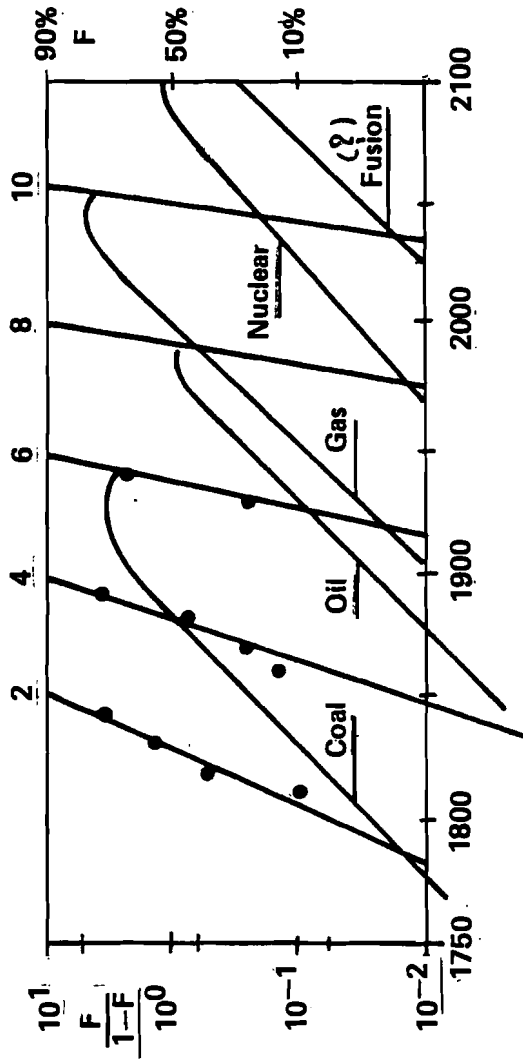
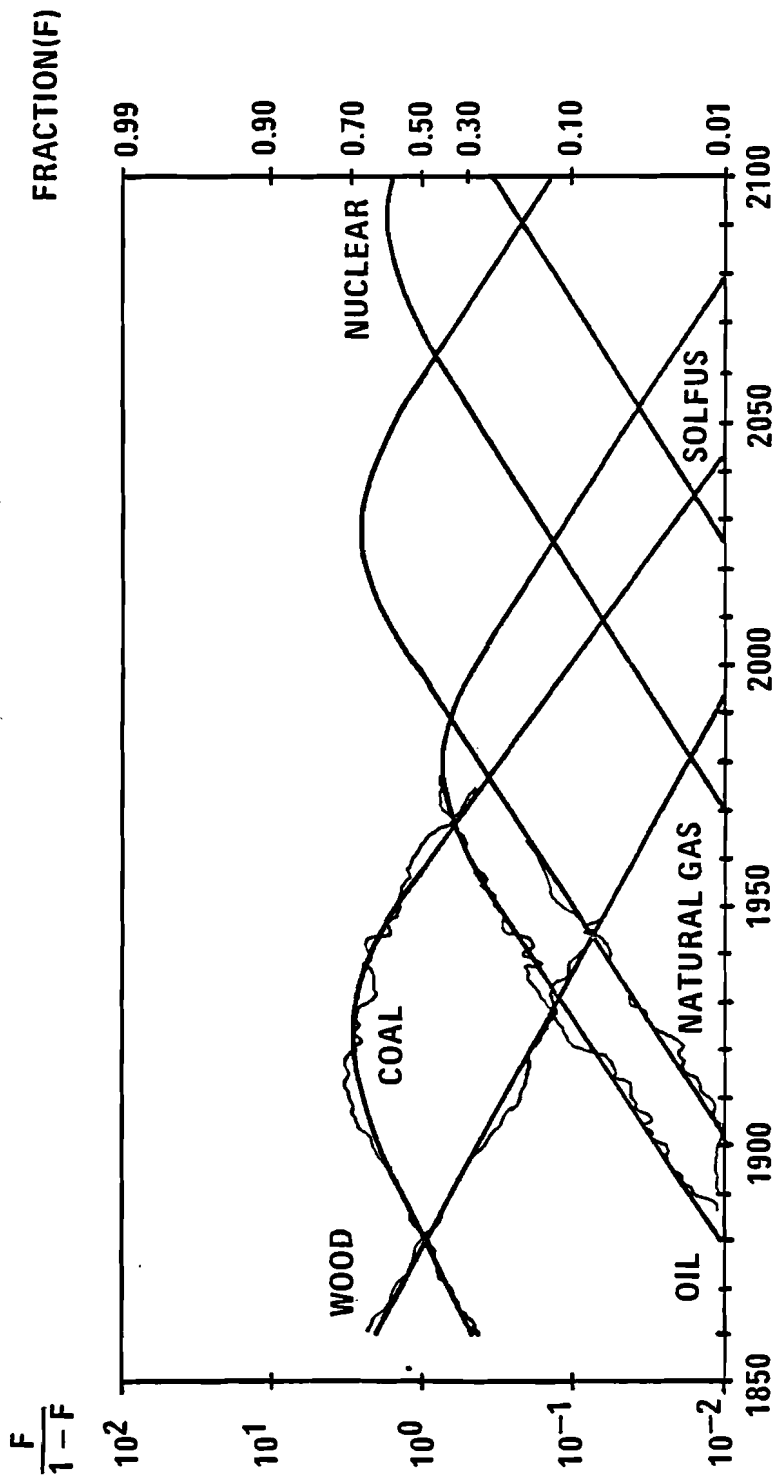


Figure 7.

WORLD PRIMARY ENERGY SUBSTITUTION



CALCULATED BY N. NAKICENOVIC, 1982.

Market shares F of primary energy sources, expressed in terms of energy.

Figure 8.

INVENTION WAVES - THE SECULAR SET

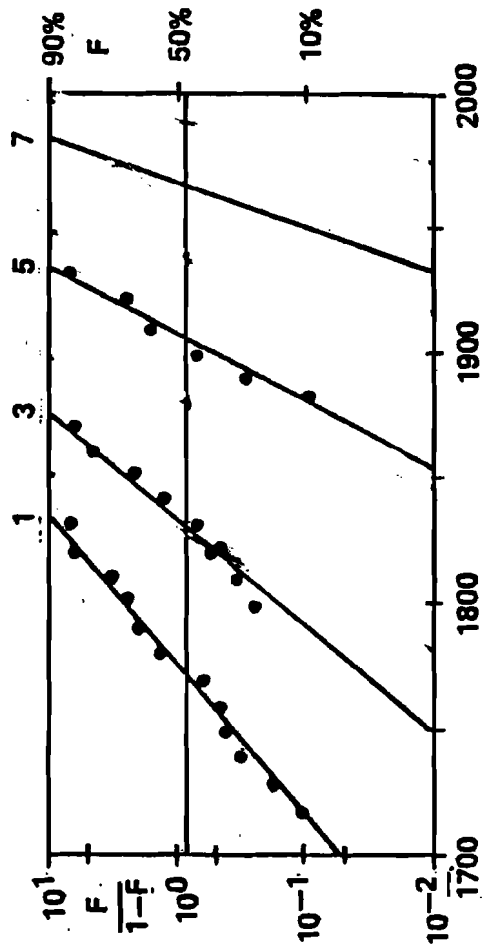


Figure 9.
U.S. CAR MORTALITY CURVE

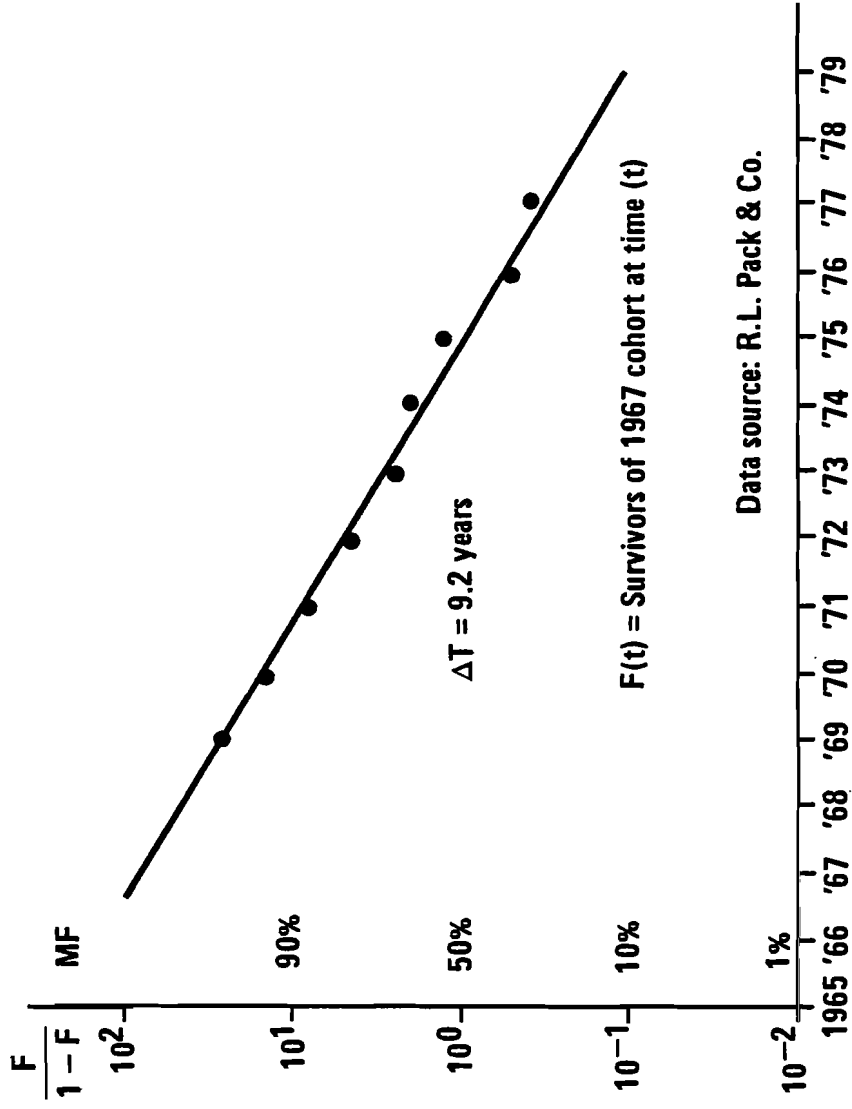
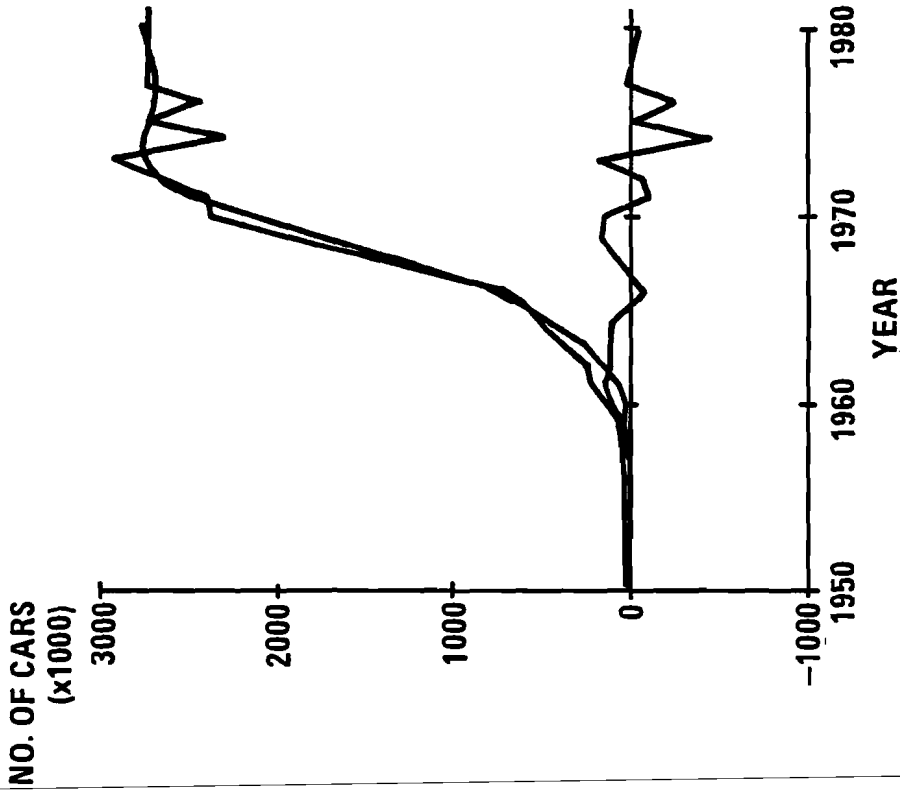


Figure 10.

NEW REGISTRATION (JAPAN)
(ASSUMED MEAN LIFE 8 YEARS)



Computerized by Z.Fortune

Figure 11.
DYNAMICS OF TRADES IN US

