



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA  
"TOR VERGATA"**

**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

**DOTTORATO DI RICERCA IN  
INGEGNERIA ECONOMICO-GESTIONALE**

**XVIII CICLO DEL CORSO DI DOTTORATO**

**LE METODOLOGIE RAZIONALI PER  
LA PREVISIONE E LA GESTIONE DELLO SVILUPPO TECNOLOGICO**

**DOTTORANDO GIAN LUCA BIANCHI**

**DOCENTE TUTOR: PROF. AGOSTINO LA BELLA**

**COORDINATORE: PROF. AGOSTINO LA BELLA**

# **INDICE**

## **1. PREMESSA ED OBIETTIVI DELLA TESI**

## **2. LE INNOVAZIONI TECNOLOGICHE E GLI EFFETTI SOCIO-ECONOMICI**

- 2.1 PREMESSA
- 2.2 TECNOLOGIA, COMPETITIVITÀ E SUCCESSO ECONOMICO DI UN'IMPRESA O DI UNO STATO
- 2.3 IL RAPPORTO TRA LE RISORSE UMANE E LE TECNOLOGIE

## **3. LA PIANIFICAZIONE STRATEGICA DELLE INNOVAZIONI TECNOLOGICHE**

## **4. IL MONITORAGGIO: LA FASE CHE PRECEDE LE PREVISIONI**

## **5. LA DEFINIZIONE DEI PROGETTI DI INNOVAZIONE TECNOLOGICA E LE PREVISIONI: UNO STRUMENTO PER I MANAGER**

- 5.1 LA GESTIONE DELLE PREVISIONI DELLE INNOVAZIONI TECNOLOGICHE
- 5.2 I METODI E LE TECNICHE DISPONIBILI
- 5.3 ALCUNI STRUMENTI PER L'ESTRAPOLAZIONE DEL TREND TECNOLOGICO
- 5.4 I MODELLI COMPLESSI DI ESTRAPOLAZIONE DEL TREND TECNOLOGICO
- 5.5 LA SIMULAZIONE
- 5.6 L'OPINIONE DELL'ESPERTO

## **6. L'IDENTIFICAZIONE, L'ANALISI E LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELLE INNOVAZIONI TECNOLOGICHE**

- 6.1 IDENTIFICAZIONE DEGLI EFFETTI DIRETTI ED INDIRETTI LEGATI ALLE INNOVAZIONI TECNOLOGICHE
- 6.2 ANALISI DEGLI EFFETTI DELLE INNOVAZIONI TECNOLOGICHE
- 6.3 VALUTAZIONE DELLE TECNOLOGIE E DEI LORO EFFETTI

## **7. UN'APPLICAZIONE**

## **8. CONCLUSIONI**

## **BIBLIOGRAFIA**

## **CAP. 1 - PREMESSA ED OBIETTIVI DELLA TESI SULLE METODOLOGIE RAZIONALI PER LA PREVISIONE E LA GESTIONE DELLO SVILUPPO TECNOLOGICO**

Il presente lavoro di tesi rappresenta la sintesi dell'attività di ricerca che è stata avviata con lo scopo di costruire un quadro generale di riferimento degli strumenti e delle tecniche disponibili per la previsione e la gestione dello sviluppo tecnologico da parte delle imprese e degli Stati che investono per aumentare la propria competitività e per accrescere rispettivamente la produttività aziendale e nazionale.

L'attività di ricerca, focalizzata sulle modalità attraverso le quali le predette organizzazioni possono effettuare le scelte d'investimento, ha avuto l'obiettivo di fornire un utile contributo al fine di conseguire un miglioramento del processo di pianificazione, di sviluppo e di gestione dei progetti di innovazione tecnologica, delle connesse analisi previsionali e valutazioni degli effetti del cambiamento che questi comportano sulle persone, sulla società, sui prodotti, sui servizi, nelle organizzazioni.

Dunque, l'attività di ricerca, affrontata con un approccio di "ingegnerizzazione" dei processi di previsione e di gestione dello sviluppo tecnologico, rappresenta un contributo per la sistematizzazione di una importante classe di modelli, al fine di renderli maggiormente fruibili, come strumento di supporto alle scelte strategiche, da parte del decisore pubblico e degli amministratori delle imprese.

Rispetto alla letteratura di riferimento, il presente lavoro ha inteso ricomporre in un quadro organico l'insieme delle fasi, degli strumenti e delle tecniche gestionali disponibili per la pianificazione strategica delle innovazioni tecnologiche, ovvero

- la definizione del problema, con la descrizione degli obiettivi, della tecnologia e del contesto sociale;
- il monitoraggio dell'andamento generale del sistema socio-economico (su scala nazionale ed internazionale), adeguatamente modellizzato;
- le previsioni necessarie a rendere più chiaro ai manager l'insieme dei possibili scenari presenti e futuri collegati alle stesse innovazioni, comprensivi di eventuali esternalità;
- la definizione di una serie di possibili alternative di innovazione tecnologica e l'identificazione, l'analisi e la valutazione preventiva dei loro effetti;

- l'adeguata modalità di gestione del processo decisionale e delle scelte di investimento relative ai progetti alternativi di innovazione, con la partecipazione degli stakeholder, e la comunicazione dei risultati;
- il monitoraggio dei feedback per verificare e per confrontare i risultati positivi e gli effetti indesiderati - rispetto agli obiettivi prefissati - della strategie di innovazione realmente adottate.

L'attività di pianificazione strategica è ben rappresentabile con un processo ciclico in cui si riconoscono componenti decisionali (tecniche e politiche), componenti analitiche e simulative, fasi di formazione del piano e di gestione dello stesso.

Il capitolo 2 offre una panoramica generale sull'introduzione e diffusione delle innovazioni tecnologiche, sugli ingenti investimenti per generarle, nonché sui connessi effetti socio-economici, sulla competitività delle organizzazioni imprenditoriali e degli Stati e sul progresso della società.

Nel capitolo 3 è stato presentato l'approccio necessario per la pianificazione strategica delle innovazioni tecnologiche, focalizzando il discorso sull'importanza del processo logico-decisionale adottato che può condurre il team di manager a scelte più efficaci rispetto agli obiettivi dell'organizzazione. I decisori devono essere costantemente aggiornati sull'andamento delle tecnologie e sui loro sviluppi, devono aver la più ampia coscienza della loro diffusione in tutti i settori dell'organizzazione e nell'ambiente esterno e devono, contemporaneamente, gestire quotidianamente le risorse, le attività e le azioni necessarie per perseguire gli obiettivi di crescita e di competitività dell'organizzazione di riferimento.

Nel capitolo 4, viene descritta la fase di monitoraggio dell'andamento generale del sistema socio-economico per la collezione - da diverse fonti di informazione - di un ricco e vario insieme di dati disponibili e ritenuti utili, la loro analisi, la loro organizzazione e lo studio delle loro interrelazioni. Questa fase, realizzata grazie all'adozione di adeguate modellizzazioni dei complessi e dinamici sotto-sistemi sociali, ha lo scopo di definire l'effettivo stato di sviluppo tecnologico e di effettuare l'analisi, l'interpretazione e la sintesi dei trend prospettici nel futuro in relazione alla spinta al progresso proveniente da diversi fattori sociali ed economici, nonché all'attuale livello delle conoscenze scientifiche e tecnologiche.

Nel capitolo 5, a partire dai dati e dalle informazioni raccolte nella fase di monitoraggio, viene descritta la gestione del processo di previsione delle innovazioni tecnologiche, utile per stimare la probabilità che un evento si verifichi ed il valore futuro dell'insieme delle variabili economiche considerate, nonché i possibili effetti sociali. In tal senso, vengono presentati alcune tecniche e metodi sperimentali disponibili fra i quali l'estrapolazione del trend tecnologico (a partire dai

metodi più semplici sino al Fisher-Pry, al Gompertz ed alle equazioni differenziali di Lotka-Volterra), la simulazione (quali il modello Ksim e l'analisi statica e dinamica degli effetti incrociati) e l'opinione dell'esperto. In un quadro caratterizzato da notevoli incertezze e dalla chiara possibilità di commettere errori nelle definizioni e nelle misurazioni, è necessario procedere con la modellizzazione della realtà, l'adozione di una serie di idonee assunzioni e la determinazione dei fattori – selezionati fra un paniere assai consistente – rispetto ai quali vanno definite una serie di possibili alternative di innovazione tecnologica per perseguire gli obiettivi dell'organizzazione. Lo scopo è quello di generare, grazie alla collaborazione di esperti interni ed esterni, un insieme di informazioni necessarie per i manager rispetto alla possibile sostituzione delle tecnologie esistenti ed agli scenari possibili, che mostrino i probabili “percorsi” (effetti) seguiti dall'azienda a valle delle scelte strategiche di investimento nell'innovazione tecnologica (cause), nonché le possibili opzioni di aggiustamento del “cammino” intrapreso grazie al monitoraggio dei risultati intermedi raggiunti e delle variazioni riscontrate rispetto alle assunzioni ed alle ipotesi iniziali. Le informazioni così generate devono essere redatte e comunicate in un formato credibile ed effettivamente utilizzabile rispetto alle decisioni da assumere ed agli obiettivi dell'organizzazione.

Nel capitolo 6, dopo aver definito una serie di possibili alternative di investimento e generato le previsioni sugli scenari futuri, vengono presentate le fasi di identificazione, analisi e valutazione degli effetti generati dall'introduzione degli alternativi progetti di innovazione tecnologica (scientifici e tecnologici, socio-economici, istituzionali, culturali, politici, ambientali, ecc... che generano cambiamenti sulle persone, sulla società, su prodotti e servizi, nelle organizzazioni). Innanzitutto, è necessario identificare (attraverso tecniche di scansione e/o di tracciamento) e selezionare con rigore gli effetti più significativi rispetto agli obiettivi prefissati dai manager, nonché per stimarne la probabilità che si verifichino. D'altronde, una reazione negativa del legislatore, dei mass media, dei consumatori e degli altri stakeholder all'introduzione o all'adozione di un'innovazione contrasterà con i risultati ottenuti dalla stessa e con il suo successivo sviluppo.

Segue una fase di analisi delle alternative di investimento attraverso l'uso di specifiche tecniche di comparazione, quali l'Analisi Costi/Benefici e la collegata analisi dei rischi, che consentono la stima complessiva degli impatti (diretti, indiretti e ritardati nel tempo) riconducendo le diverse categorie di effetti a livello economico.

Infine, viene affrontata la necessità di gestire adeguatamente il processo decisionale, attraverso un'attenta valutazione dei progetti alternativi di innovazione tecnologica e degli effetti prospettici futuri da essi generati e un meccanismo che garantisca scelte di investimento ponderate, grazie anche al coinvolgimento e la partecipazione degli stakeholder ed alla raccolta, all'analisi ed alla sistematizzazione delle preferenze umane. In tal senso, vengono introdotti il metodo degli obiettivi

multipli, la tecnica Analytic Hierarchy Process e l'analisi degli scenari per l'assegnazione dei valori alle singole alternative, l'esclusione di quelle chiaramente inferiori, l'ordinamento di quelle rilevanti, la definizione delle priorità fra i diversi progetti di investimento, la scelta e la comunicazione dei risultati alle parti interessate.

Inizia, quindi, il processo di gestione dei progetti di innovazione tecnologica che porteranno allo sviluppo e alla diffusione di nuove tecnologie, oppure al miglioramento di quelle esistenti o, ancora, ad una discontinuità strutturale rispetto alle stesse, causando anche il cambiamento del sistema socio-tecnologico ed il processo di riorganizzazione delle istituzioni e delle imprese. Tramite adeguati sistemi di monitoraggio dei feedback (da realizzarsi tramite le strumentalità introdotte nel capitolo 4), i manager dovranno essere in grado di valutare e controllare il complesso degli effetti generati, misurando i risultati positivi e gli effetti indesiderati generati a seguito della reale adozione delle strategie di innovazione tecnologica, anche in relazione alle proprie aspettative previsionali ed alle proprie responsabilità sociali.

Il capitolo 7 è dedicato ad un'applicazione dei metodi sperimentali disponibili per l'estrapolazione del trend tecnologico nell'ambito del mercato italiano dell'home video, mostrando una possibile evoluzione della diffusione dei supporti DVD e VHS e della sostituzione della prima tecnologia con la seconda.

Il capitolo 8 è dedicato alle conclusioni. In sostanza, il processo novellato consente di rendere più chiaro ai manager il quadro dei possibili scenari presenti e futuri collegati all'innovazione tecnologica, che deve essere considerata come fondamentale fattore chiave nel processo decisionale degli stessi manager. I decisori pubblici e gli amministratori delle imprese, attraverso le analisi socio-economiche, le loro valutazioni preventive sulle diverse possibili alternative in termini di investimenti e innovazione e le loro successive scelte, indurranno modifiche strutturali dei sistemi e genereranno effetti sul breve periodo e sul lungo periodo, in termini di capacità produttiva, flessibilità, posizionamento sul mercato, acquisizione del vantaggio competitivo, impatto sociale, miglioramenti della conoscenza, ecc....

In particolare, l'attività di ricerca è stata svolta attraverso lo studio e l'applicazione di tecniche e processi di analisi statistica, qualitativa e quantitativa su apposite modellizzazioni di sistemi socio-economici ed è stata resa possibile grazie alla disponibilità di materiale statistico e bibliografico di riferimento sull'argomento della tesi. Tra le strumentalità proprie dell'Ingegneria Economico-Gestionale sono state utilizzate quelle relative alla gestione dei sistemi informativi, alla strutturazione logico-funzionale, all'organizzazione complessiva del processo decisionale, nonché all'analisi e alla valutazione delle prestazioni per consentire di effettuare le scelte migliori.

## **CAP. 2 - LE INNOVAZIONI TECNOLOGICHE E GLI EFFETTI SOCIO-ECONOMICI**

### **2.1 PREMESSA**

Con il termine tecnologia si intende l'applicazione della conoscenza dei sistemi per modificare, controllare o regolare gli elementi presenti nel nostro ambiente naturale e sociale: ciò riguarda sia fattori fisici, come macchinari ed apparecchi, sia fattori immateriali, ovvero sistemi di analisi, regolazione e gestione. Ad esempio, alcune delle più note innovazioni tecnologiche degli ultimi decenni riguardano l'ingegneria genetica, i sistemi di comunicazione, il digitale terrestre e satellitare, il boom della rete telematica, la robotica, i sistemi automatici di controllo della qualità, i sistemi computerizzati di progettazione e realizzazione dei prodotti, ecc... che hanno radicalmente cambiato i comportamenti degli individui e della società globale.

I dirigenti pubblici ed i manager privati devono essere coscienti del forte e complesso collegamento esistente tra lo sviluppo tecnologico ed il progresso della società, i quali sono governati da un processo che presenta un'intrinseca ciclicità ed è caratterizzato da influenze reciproche (Rossini e Porter, 1982). Le innovazioni tecnologiche, le loro applicazioni e diffusioni inducono crescita economica, continui miglioramenti delle conoscenze, mutamenti nelle istituzioni e nei comportamenti individuali e sociali. Contemporaneamente, le condizioni per favorire le innovazioni tecnologiche sono generate dagli investimenti propri delle istituzioni e del sistema imprenditoriale, dal progresso scientifico, nonché dagli stessi cambiamenti nella società, che devono essere analizzati attraverso adeguate modellizzazioni dei complessi e dinamici sotto-sistemi sociali (adottando diverse possibili teorie fra le quali l'evoluzionismo, la conflittualità come motore del cambiamento, il funzionalismo basato sul confronto tra processi che generano stabilità strutturale e processi che producono cambiamenti strutturali, la ciclicità basata sui concetti di nascita, crescita, maturità, decadimento).

Ogni sotto-sistema socio-tecnologico è sostanzialmente aperto, nel senso che le innovazioni dello stesso possono essere causate e generate nel proprio ambito o provenire dall'esterno, per mezzo degli investimenti economici e delle continue interrelazioni tra fattori quali le nuove disponibilità di talenti umani, risorse naturali e conoscenze frutto delle ricerche scientifiche, le nuove scoperte ed apparecchiature tecnologiche, gli obiettivi delle istituzioni e delle aziende, nonché i principi, i valori ed i comportamenti caratterizzanti la società. Quindi, ogni innovazione innesca un meccanismo virtuoso "a spirale" (ovvero né lineare né ciclico), induce la crescita, lo sviluppo ed il miglioramento dei suddetti fattori generanti, nonché produce la stabilizzazione o la crescita del sotto-sistema oppure un cambiamento strutturale dello stesso. Inoltre, poiché non esiste una perfetta sincronizzazione temporale tra gli effetti generati dall'introduzione delle innovazioni e lo "stato di equilibrio" del sistema, ciò provoca una continua tensione al cambiamento.

Dunque, la fase di previsione che precede i progetti di innovazione tecnologica parte dallo studio dell'effettivo stato di sviluppo tecnologico in relazione alla spinta al progresso proveniente da diversi fattori sociali ed economici, nonché all'attuale livello delle conoscenze scientifiche e tecnologiche. Segue un processo di analisi - in cui sono impiegate risorse umane, intellettuali, materiali e finanziarie - che condurrà alla valutazione ed alla scelta fra differenti ipotesi di sviluppo tecnologico ed all'individuazione dei fattori chiave per ottenerle.

Inizia, quindi, il processo di gestione dei progetti di innovazione tecnologica che porteranno allo sviluppo e alla diffusione di nuove tecnologie, oppure al miglioramento di quelle esistenti o, ancora, ad una discontinuità strutturale rispetto alle stesse, causando anche il cambiamento del sistema socio-tecnologico. Il processo guidato dai manager aziendali è caratterizzato dalla necessità di allocare risorse materiali ed immateriali, facendo collaborare reciprocamente i settori dedicati alla Ricerca e Sviluppo, alle vendite dei prodotti, alla loro ingegnerizzazione e produzione con lo scopo di ottenere benefici di funzionamento al proprio interno e miglioramenti della propria competitività o della propria forza contrattuale verso l'esterno, in base agli obiettivi dell'organizzazione, alle stime, alle competenze ed abilità delle risorse umane, alle disponibilità finanziarie.

In parallelo, è necessario prevedere un processo di riorganizzazione delle istituzioni e delle imprese per gestire la diffusione delle innovazioni tecnologiche, delle quali è necessario valutare e controllare il complesso degli effetti generati: attraverso l'analisi dei feedback ad ogni step, è possibile verificare le risposte economiche e sociali causate dal cambiamento e, quindi, si possono adottare adeguate misure volte a promuovere o arrestare il fenomeno (modificando gli apporti di capitale, risorse umane, materiali, ecc...). La valutazione degli effetti "interni" all'organizzazione è affidata ai manager d'impresa ed è fattibile, essendo generalmente disponibili delle informazioni utili ad effettuare delle stime. La valutazione degli effetti "esterni", attuata sia dai dirigenti pubblici sia dai manager privati, è invece caratterizzata da un'analisi assai complessa della catena degli impatti (diretti ed indiretti, sul breve e sul lungo periodo) causati dall'introduzione delle innovazioni tecnologiche, che spesso si insinuano in molti beni e servizi ed in ogni aspetto della vita sociale. Ad esempio, l'introduzione dei personal computer, il loro alto tasso di ricambio generazionale, nonché il loro elevato livello di diffusione hanno portato, dopo alcuni decenni, al problema di dover costruire speciali sistemi di smaltimento del materiale elettronico in essi presente. Per la suddetta complessità, la valutazione degli effetti "esterni" è spesso limitata a specifici ambiti per valutare esclusivamente alcune tipologie di conseguenze possibili (ovvero in termini di mutamenti ed impatti normativi e legali, commerciali, sulle preferenze politiche, sul sistema delle comunicazioni, su valori e comportamenti caratterizzanti la società, ecc...).



## **2.2 TECNOLOGIA, COMPETITIVITÀ E SUCCESSO ECONOMICO DI UN'IMPRESA O DI UNO STATO**

I beni ed i servizi ad alta tecnologia ricoprono una quota crescente di un mercato che è sempre più globale, considerati anche il miglioramento del sistema delle comunicazioni, la riduzione dei costi di trasporto, l'abbattimento delle barriere commerciali e la maggiore rilevanza e consistenza delle compagnie multinazionali.

Naturalmente, come dimostrano il tasso di sviluppo ed i brillanti risultati ottenuti dai cosiddetti Paesi emergenti in questi ultimi decenni, un nuovo parametro per valutare il successo delle economie nazionali è la competitività internazionale del proprio sistema di industrie (Jones, Kovach, Luzwick, 2002; Porter, 2004) che operano nei settori della produzione di beni e servizi tecnologici. Queste sono necessariamente obbligate ad avere un'elevata capacità di creare e di commercializzare rapidamente nuovi prodotti tecnologicamente avanzati, qualitativamente validi e affidabili, nonché di innovare i propri processi e le correlate tecnologie che sono state adottate per garantire un elevato livello di produttività.

Come si evince da molti studi, alcuni Paesi e le proprie infrastrutture socio-economiche investono molto più di altri - in ricerca e nella costituzione di aziende - per favorire la progettazione, la rapidità di sviluppo, la commercializzazione e la gestione delle innovazioni tecnologiche, nonché per formare gli individui, per accrescere le conoscenze e l'organizzazione delle risorse, proprio con l'ottica di ottenere un generale vantaggio competitivo nel mercato mondiale. Così, ad esempio, una nazione lungimirante come il Giappone - che ha investito "prima" delle altre nelle infrastrutture delle reti di comunicazione a fibre ottiche (portando la connessione veloce ad internet ed il digitale terrestre in ogni casa) - ha ottenuto un elevato vantaggio competitivo, favorendo la crescita di un forte mercato locale ma, soprattutto, un incremento della competitività internazionale delle proprie imprese che producono beni ed offrono servizi sfruttando proprio queste tecnologie. In sostanza, la consistenza degli investimenti in innovazione e la correlata capacità di evolvere tecnologicamente sono considerati tra i più importanti parametri per valutare la qualità delle politiche adottate dal sistema pubblico di ogni Paese.

Dunque, anche i Governi nazionali, come le imprese, pianificano gli investimenti in ricerca e nelle innovazioni tecnologiche relativamente ai settori della difesa, dello sviluppo economico ed industriale, dell'agricoltura, dei trasporti, dell'energia, dell'ambiente, della salute.

Al centro della gestione delle politiche nazionali per la competitività si colloca il sistema imprenditoriale: oltre alle azioni idonee a migliorare la produttività, ad acquisire i vantaggi delle economie di scala e di scopo, nonché a ridurre i costi, gli sprechi e le scorte, i manager aziendali devono gestire sempre più consistenti investimenti - imprenditoriali o pubblici - nella ricerca e

nello sviluppo di nuovi beni e servizi ad alto contenuto tecnologico (soprattutto, nei settori che si occupano specificatamente di ICT).

Viste l'introduzione di continue innovazioni tecnologicamente avanzate e la diminuzione della vita media commerciale dei prodotti ad alta tecnologia, le imprese devono essere caratterizzate da elevata flessibilità e capacità di adattamento poiché sono soggette a continui mutamenti organizzativi dei sistemi interni di gestione, delle modalità di produzione e delle funzioni di servizio. Tutto ciò rende più complessa, per coloro che gestiscono le innovazioni tecnologiche e gli investimenti in R & S, la valutazione del mutamento dei desideri e del livello di soddisfazione dei clienti, delle dinamiche di mercato, dell'affidabilità e del ciclo di vita dei prodotti, delle adeguate forme di commercializzazione, degli effetti sociali e sulla sicurezza, nonché degli impatti ambientali.

È necessario, inoltre, che i manager seguano l'andamento della concorrenza poiché le scelte di investimento hanno un'alta valenza strategica ed influiscono fortemente sulla competitività delle aziende: singole scelte errate possono compromettere il vantaggio competitivo e favorire gli avversari e gli imitatori, non solo in un'ottica "attuale" (effetti sul breve periodo) ma anche con influenze sul futuro (effetti sul lungo periodo). Tenuto conto che sono in gioco ingenti quantità finanziarie, le previsioni che precedono i progetti di innovazione tecnologica (basate su modelli caratterizzati da elevate incertezze) devono essere correlate da analisi economiche e dalla stima dei rischi.

Quindi, risulta assai ardua la scelta e la gestione dei progetti sui quali investire ingenti risorse per studiare, progettare e produrre le innovazioni tecnologiche di beni e servizi: questa scelta, di norma, viene oggi elaborata per mezzo di appositi team coordinati dai manager e composti da professionisti, da tutti i responsabili dei settori aziendali interessati al processo di valutazione e, talvolta, dagli stakeholder.

Le strategie competitive relative alla scelta di progettazione e realizzazione di nuovi prodotti possono essere guidate, prevalentemente, a seconda dei casi, dai progettisti (che generano il "miglior" bene / servizio seguendo le proprie idee piuttosto che rispondere alle aspettative dei clienti), dalle funzioni marketing e vendite (che si relazionano con il mercato e le aspettative degli stakeholder), da una combinazione bilanciata delle due aree. In quest'ottica, a seconda dell'impostazione aziendale, le imprese affidano la gestione delle innovazioni tecnologiche a dei project manager, creano apposite divisioni aziendali oppure effettuano lo spin off.

Storicamente, è necessario rilevare come, a livello di sviluppo economico e sociale globale, sia stato fondamentale il contributo dato dalle imprese delle grandi nazioni industriali che hanno investito nei paesi emergenti e, ormai da tempo, hanno cominciato a vendere le proprie licenze ed i

propri brevetti di produzione tecnologica alla Cina, all'India, ai paesi dell'Est Europa ed agli altri paesi in via di sviluppo. In effetti, le tecnologie che risultano obsolete nei sistemi più avanzati hanno consentito di accrescere considerevolmente la qualità e la produttività di beni e servizi in quei paesi la cui produzione industriale è stata per molto tempo insufficiente. Grazie a questo meccanismo ed agli investimenti locali in formazione specialistica degli individui, oggi, i paesi emergenti, che solo trent'anni or sono erano a matrice sostanzialmente agricola, hanno convertito buona parte delle loro risorse umane, economiche e finanziarie nelle produzioni di beni e servizi ad elevata tecnologia.

### **2.3 IL RAPPORTO TRA LE RISORSE UMANE E LE TECNOLOGIE**

Come evidenziato in premessa, le evoluzioni tecnologiche hanno radicalmente cambiato i comportamenti degli individui e della società globale, generando due differenti tipologie di effetti sulle persone. Coloro che sono al di fuori dell'organizzazione sono molto attenti ed interessati allo sviluppo delle tecnologie ed al miglioramento tecnologico, cercando anche di influenzarne l'andamento. Coloro che lavorano all'interno di un'organizzazione devono migliorare le proprie conoscenze, competenze e capacità lavorative per adeguarsi con continuità ai successivi cambiamenti nei processi lavorativi, nei beni e nei servizi offerti.

Per favorire il manifestarsi degli effetti positivi generati dall'introduzione delle innovazioni tecnologiche, i manager devono saper prevederle, valutarle e trasferirle all'interno del sistema aziendale: per fare ciò, essi devono anche avere competenze di gestione ed amministrazione, conoscere i problemi socio-economici e gli sviluppi delle politiche governative, seguire le dinamiche dei mercati internazionali, possedere una cultura interdisciplinare, essere in grado di cooperare per generare nuovi prodotti, processi e sistemi.

I manager che gestiscono la tecnologia devono essere in grado di prevedere e valutare i cambiamenti tecnologici e le loro conseguenze, cercando di ottenere vantaggi competitivi per la società nel mercato di riferimento, per il governo della cosa pubblica, per le aziende operanti nei settori della produzione e dei servizi.

## **CAP. 3 – LA PIANIFICAZIONE STRATEGICA DELLE INNOVAZIONI TECNOLOGICHE**

La pianificazione strategica delle innovazioni tecnologiche di prodotto e/o di processo è fortemente collegata alle tecniche di previsione ed alla gestione di specifici progetti, poiché queste forniscono alcuni degli input necessari. La pianificazione rappresenta un processo fondamentale per le imprese ed è una delle responsabilità primarie dei manager, che, in un contesto caratterizzato da un'economia sempre più complessa e globale e da mercati sempre più dinamici e competitivi, devono:

- cooperare fra loro in appositi team e rendere partecipi i lavoratori;
- aver la più ampia coscienza della diffusione delle tecnologie in tutti i settori aziendali (che spesso non è adeguatamente nota);
- raggiungere nel lungo periodo gli obiettivi generali stabiliti e dichiarati dall'organizzazione;
- e, contemporaneamente, gestire quotidianamente le risorse (politiche di budgeting), le attività e le azioni necessarie per perseguirli.

Infatti, le scelte di pianificazione strategica (Maddox, Anthony e Wheatley, 1987; Haines 2000) sono collegate:

- al processo decisionale adottato ed alle tecniche di analisi seguite;
- alla quantità e tipologia di informazioni disponibili di origine interna all'impresa (compresi gli obiettivi generali e specifici dichiarati, le tecnologie a disposizione, la flessibilità aziendale, l'impegno delle risorse umane, economiche e finanziarie) e provenienti dall'ambiente esterno (come il contesto sociale, l'analisi di mercato e delle preferenze degli individui, gli sviluppi tecnologici, le stime dei costi, la competitività, la possibilità di accordi commerciali e finanziari con altre imprese per accrescere il proprio potenziale, ecc...);
- alla fattibilità reale della sequenza di azioni da intraprendere;
- all'individuazione delle problematiche e dei fattori di incertezza.

Dopo l'analisi dei suddetti elementi, certi ed incerti che siano, segue la progettazione di differenti ipotesi di alternative di innovazione per perseguire gli obiettivi dell'organizzazione (stimando - tramite appositi modelli e grafici - il ciclo di vita dei prodotti, le economie di scala, l'andamento degli sviluppi tecnologici futuri, l'acquisizione dei brevetti, ecc...). Quindi, il team di manager procede con la comparazione ed attenta valutazione di una possibile serie di effetti economici e sociali delle suddette alternative (d'altronde, alcune scelte strategiche sbagliate possono generare importanti situazioni di pericolo per le popolazioni o la rovina di importanti imprese, molto spesso causate dall'impreparazione del management, dall'inadeguatezza dell'organizzazione e delle strutture ad adattarsi alle tecnologie, da errori nella stima dei ritorni economici di breve periodo, ecc...).

L'attento processo di valutazione è necessario perchè, nelle successive fasi di programmazione e gestione ordinaria dell'azienda, non vi è più la possibilità di acquisire o movimentare le risorse: tale azione è propria della fase di pianificazione (ovvero quando si sceglie di innovare i propri prodotti e/o processi, costituire joint venture con altre aziende, acquisire licenze in out-sourcing).

Infine, tramite adeguati sistemi di monitoraggio dei feedback, i manager dovranno essere in grado di misurare i risultati positivi e gli effetti indesiderati generati a seguito della reale adozione delle strategie di innovazione tecnologica, anche in relazione alle proprie aspettative previsionali ed alle proprie responsabilità sociali (si pensi, ad esempio, al contributo alla crescita economica e sociale di un paese, allo sviluppo delle reti di comunicazione e di trasporto, alla diffusione dell'energia nucleare e alla conseguente maggiore disponibilità energetica, ma anche ai problemi connessi alla disoccupazione delle persone non competenti, ai rischi per la salute, alle piogge acide, all'effetto serra, al deposito dei rifiuti tossici industriali e delle scorie nucleari, alla diffusione di armi chimiche, biologiche e nucleari, ecc...).

Nell'ambito della pianificazione strategica delle innovazioni tecnologiche è centrale il processo logico-decisionale adottato che può condurre il team di manager a scelte più efficaci rispetto agli obiettivi dell'organizzazione ed alla definizione di un'adeguata sequenza di azioni fattibili da compiere per perseguirli, nonché ad una maggiore compartecipazione delle scelte da parte di tutte le funzioni aziendali e dei lavoratori, grazie all'adozione di adeguate tecniche di negoziazione e comunicazione interna. Molto spesso, infatti, i manager commettono il grave errore di non coinvolgere adeguatamente tutte le aree dell'organizzazione, che poi non apprezzano il cambiamento e non permettono di raggiungere gli obiettivi dichiarati, generando resistenze alla trasformazione, conflitti e pesanti disfunzioni connesse all'adozione delle innovazioni tecnologiche di prodotto e/o di processo.

Ed ancora, è necessario che i manager utilizzino un approccio pro-attivo e che le scelte di introdurre le innovazioni tecnologiche siano adatte al contesto sociale ed ambientale locale di riferimento: è questa una delle basi dei principi dello sviluppo sostenibile. A questi si devono attenere governi ed imprese, per favorire la crescita economica delle imprese – anche nel contesto globale - perseguendo, al contempo, benefici obiettivi sociali ed evitando possibili effetti indesiderati ed inattesi sopra enunciati (si pensi, ad esempio, ai rischi ed all’inutilità di impiantare in Polinesia una centrale nucleare, vista l’esigua domanda energetica locale e le enormi problematiche connesse alla salute delle persone ed allo smaltimento delle scorie).

La valutazione di una possibile serie di effetti economici, sociali, culturali, istituzionali ed ambientali relativi all’introduzione di nuove tecnologie ed al miglioramento di quelle esistenti deve avvenire in modo sistematico, tenendo conto dei rischi e dell’analisi dei costi e dei benefici, diretti, indiretti e ritardati nel tempo, connessi all’adozione e diffusione delle stesse. Alcuni prodotti, con il tempo, modificano completamente i comportamenti degli individui e generano una molteplicità di effetti sociali. Si pensi, ad esempio, a tutti i recenti sviluppi della rete di telefonia mobile e della tv digitale, che influenzano quotidianamente le azioni di un numero sempre crescente di individui. Naturalmente, pur non potendo prevedere tutte le cause ed i possibili effetti futuri, i manager evitano, in questo modo, molte pericolose resistenze sociali al cambiamento che avrebbero effetti dannosissimi per un’impresa, tenendo conto degli enormi investimenti necessari all’adozione delle innovazioni tecnologiche.

## **CAP. 4 – IL MONITORAGGIO: LA FASE CHE PRECEDE LE PREVISIONI**

Il monitoraggio delle tecnologie (Coates ed altri, 1986) è una tecnica fondamentale che precede la fase di generazione delle previsioni connesse ai progetti di innovazione tecnologica, ed è fortemente collegata ad essa. Il monitoraggio può procedere attraverso l'attenta osservazione, l'analisi ed il controllo di una serie di ben definiti fattori appartenenti ad un determinato, delimitato, opportuno ed idoneo contesto in cui si sviluppa una tecnologia e/o attraverso l'acquisizione di informazioni attinenti la storia dello sviluppo, dello stato attuale e dello prospettive future di specifiche tecnologie in fase di studio. Naturalmente, i due differenti approcci discendono dall'assunzione che le innovazioni tecnologie sono conseguenze di cambiamenti in altre tecnologie e/o del contesto socio-economico.

A partire da una serie di assunzioni, il monitoraggio ha l'obiettivo di favorire:

- la determinazione dei fabbisogni espressi internamente ed esternamente all'organizzazione;
- l'osservazione di importanti eventi nel contesto scientifico, tecnico e socio-economico;
- la definizione delle criticità e la ricerca dei possibili benefici che possono discenderne per la stessa organizzazione;
- la comprensione dei trend dei fattori selezionati dai manager.

Inoltre, sempre tramite adeguati sistemi di monitoraggio continuo, i manager dovranno misurare i feedback ed essere in grado di verificare i risultati positivi e gli effetti indesiderati della reale adozione delle strategie di innovazione tecnologica, confrontandoli rispetto alle proprie aspettative previsionali, ai possibili impatti sociali ed alle connesse responsabilità, alle modifiche delle variabili economiche generate dal cambiamento tecnologico.

Quindi, il monitoraggio sistematico, consente di aggiornare la base informativa e la strutturazione di input specifici, i quali sono poi comunicati ai tecnici esperti che si occuperanno della successiva elaborazione delle previsioni, predisposte per agevolare la comprensione dei possibili sviluppi tecnologici e socio-economici, la pianificazione dei processi di gestione delle innovazioni tecnologiche e le successive decisioni di investimento dei manager.

Il monitoraggio sistematico si svolge attraverso la collezione di un ricco e vario insieme di dati disponibili e ritenuti utili (selezionati secondo il giudizio del tecnico ed ottenuti tramite il calcolo teorico, la letteratura esistente, e/o la raccolta tramite osservazione delle fonti individuate per evitare la raccolta di dati insignificanti e confusi) da diverse fonti di informazione (quotidiani, riviste specialistiche, pubblicazioni telematiche ed editoriali, ricerche settoriali, studi governativi),

la loro organizzazione, lo studio delle loro interrelazioni e dei trend prospettici sul futuro, la loro analisi, interpretazione e sintesi.

## LE DIFFERENTI TIPOLOGIE DI MONITORAGGIO

È necessario effettuare delle scelte rispetto all'approccio ed alla tipologia del processo di monitoraggio adottato, prima dell'avvio dello stesso:

| SCELTE<br>RELATIVE A             | DESCRIZIONE   |   |
|----------------------------------|---|---|
| <b>Stato temporale</b>           | Studio<br>dell'argomento<br>in modo   | esplorativo, prima dell'implementazione (situazione caratterizzata da risorse limitate e responsabilità incerte)  |
|                                  |   | correlato ad imminenti decisioni  |
|                                  |   | successivo alle decisioni, per valutarne gli effetti (avviato dall'organizzazione per la gestione di una tecnologia o per rispondere a specifiche richieste delle autorità pubbliche) |
| <b>Svolgimento<br/>temporale</b> | Studio del passato, per non limitare il focus del monitoraggio e non perdere importanti influenze   |   |
|                                  | Sistema di monitoraggio continuo, per raccogliere un insieme di informazioni sul lungo periodo che possono essere utilizzate nell'ambito di ricerche più dettagliate  |   |
| <b>Focus</b>                     | Monitoraggio della tecnologia   |   |
|                                  | Monitoraggio del contesto   |   |
| <b>Ampiezza</b>                  | A livello macro, può racchiudere un intero spettro di tecnologie oppure un sistema tecnologico  |   |
|                                  | A livello micro, può essere focalizzato su una tecnologia o su un uso specifico della stessa oppure su un singolo dispositivo/componente tecnologico  |   |
| <b>Scopo</b>                     | Finalizzato a generare una successiva previsione  |   |
|                                  | Finalizzato a generare una successiva scelta  |   |
| <b>Stato di sviluppo</b>         | Per un uso orientato alle invenzioni (approccio ingegneristico), per ridurre le incertezze e le criticità relative alle tecnologie e per stimare la probabilità del successo delle stesse   |   |
|                                  | Per un uso orientato alle innovazioni (approccio economico), in modo che una data tecnologia possa soddisfare i bisogni di certi gruppi di consumatori, poiché risulta migliore rispetto alle proprie concorrenti o abbassa i prezzi di mercato   |   |
|                                  | Monitoraggio di una tecnologia affermata, per estrarre informazioni da modelli conosciuti relativamente all'andamento di certi parametri (ad esempio, dall'analisi matematica e statistica dei casi precedenti si può comprendere l'approssimarsi di cambiamenti collegati allo sviluppo di tecnologie che - abbattendo i costi, eliminando esternalità oppure integrando invenzioni incomplete - consentono di lanciarne altre più importanti) |   |
|                                  | Monitoraggio di una tecnologia emergente, per raccogliere - in un tempo lungo e da molteplici fonti - una serie di vaghe informazioni (molto sensibili all'ambiente di riferimento) senza un obiettivo ben definito (ad esempio, in passato, non erano ben noti i possibili sviluppi dei super-conduttori, dei semi-conduttori, delle immagini digitali, delle biotecnologie, ...)  |   |



Le scelte sulla tipologia di processo di monitoraggio adottato sono fondamentali per la comprensione dei dati. Ad esempio, coloro che monitorano un sistema a livello “macro” (ed esempio, lo studio per l’automazione di impianti) non possono ignorare gli impatti apportati dalle evoluzioni a livello “micro” (lo sviluppo della memoria dei computer che consente di migliorare i dispositivi che gestiscono le reti).

Con il processo di monitoraggio del contesto si possono analizzare i cambiamenti dei fattori caratterizzanti l’ambiente studiato (culturali, umani, sociali, economici, istituzionali, politici, internazionali, ecc...), quali ad esempio:

- le scoperte scientifiche e tecnologiche;
- i valori diffusi, i comportamenti etici, il livello di informazione mass mediatica;
- i livelli di diffusione delle malattie e l’aspettativa media di vita;
- il tasso di nascita e il livello di alfabetizzazione;
- il livello di occupazione e lo stato dell’economia;
- l’espansione delle imprese multinazionali, il tasso di concentrazione industriale in un settore, la partecipazione pubblica;
- la distribuzione dei poteri all’interno di uno Stato;
- la stabilità dei Governi e l’organizzazione interna della politica e dei partiti;
- il grado di sicurezza interna e militare;
- la situazione del petrolio, della finanza mondiale, del mercato globale e dei modelli di competitività;
- il deposito delle scorie nucleari, la diffusione dell’effetto serra e di varie forme di inquinamento.

La distinzione “macro” – “micro” permane anche rispetto al contesto monitorato, ovvero la prima caratterizza le scelte che – ad esempio – i governi devono adottare avendo a disposizione gli indicatori relativi a vari fattori socio-economici di interesse generale. La seconda è, invece, più strettamente collegata all’analisi di quei fattori del contesto per i quali si ha una maggiore percezione dell’impatto sugli interessi di una singola organizzazione.

## LE FASI DEL MONITORAGGIO

Visto l'ampio spettro di possibili tipologie di monitoraggio, generalmente, le varie fasi dello stesso devono essere adattate agli specifici bisogni e, allo stesso tempo, devono essere scelti coloro che guideranno ed effettueranno le azioni (siano essi membri di team costituiti ad hoc o dirigenti di specifici settori interessati). Generalmente, possono essere considerate utili le seguenti fasi:

| FASE   | DESCRIZIONE   |
|--|---|
| <p><b>Determinare gli oggetti ed il focus del monitoraggio</b></p>       | <p>La prima attività di un processo di monitoraggio consiste nel fissare un focus e nel determinare quali fattori si adattano al caso di studio, per poi esplicitarli chiaramente (evitando di collezionare un grande quantità di dati inutili rispetto al lo scopo del processo, ma anche di perdere informazioni significative) e scegliere la tipologia di monitoraggio da adottare in considerazione dello scopo, dell'estensione temporale, della programmazione, delle risorse umane e finanziarie disponibili, dell'interesse a realizzare una svolta o un miglioramento rispetto alle tecnologie esistenti.</p>   |
| <p><b>Descrivere la tecnologia e disegnare il contesto attinente</b></p> | <p>Attraverso un procedimento iterativo, a partire da una presunta definizione o descrizione di una certa tecnologia e dal disegno delle interrelazioni con altre, il processo accresce la conoscenza della stessa tecnologia, del pertinente sistema tecnologico e socio-economico, dei fattori critici selezionati, nonché dei possibili impatti e dei probabili miglioramenti qualitativi e quantitativi per l'organizzazione.</p> <div data-bbox="884 853 1396 1361" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;"><i>Fig. 4.1 MAPPA DELLE TECNOLOGIE</i></p>  |
| <p><b>Adottare un'appropriata strategia di monitoraggio</b></p>          | <p>I differenti approcci sono legati al differente livello di familiarità con il soggetto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ad un primo livello, il soggetto è “non familiare”, ovvero si deve sapere quale è la tecnologia, il suo stato dell’arte, le relazioni con altre, i fattori ambientali che la influenzano, i possibili sviluppi futuri. A questo livello, il monitoraggio può essere realizzato: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ raccogliendo tutti i dati opportuni,</li> <li>○ ricercando informazioni sullo stato dell’arte nelle recenti pubblicazioni,</li> <li>○ individuando quei pochi professionisti esperti che possono identificare le adeguate fonti di informazione allo scopo di evitare che il processo degeneri conducendo lontano dall’obiettivo</li> </ul> </li> <li>• ad un secondo livello, il soggetto è “famigliare”, quindi è possibile sintetizzare le informazioni ed immaginare lo stato della tecnologia, ovvero si deve sapere quali sono le forze interessate che la sospingono, le interrelazioni riscontrate con altre e con i fattori socio-economici, le incertezze lungo la traiettoria dei possibili sviluppi futuri.</li> </ul> |

|   |   |             |  |  |  |                                       |  |  |  |              |  |  |  |
|---|---|-------------|--|--|--|---------------------------------------|--|--|--|--------------|--|--|--|
|   | <p>A questo livello, il monitoraggio può essere realizzato:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ utilizzando - come fonti di informazione – una letteratura avanzata sull’argomento che presenta un’adeguata conoscenza dei trend e degli indicatori principali dello sviluppo tecnologico,</li> <li>○ verificando le previsioni già formulate in materia,</li> <li>○ individuando una serie di professionisti esperti che possono indicare diverse ipotesi sul futuro</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ad un terzo livello, il soggetto è “molto familiare”, essendo ben focalizzati gli oggetti, ovvero si deve sapere quali sono i fattori chiave da controllare, i più probabili modelli di sviluppo nell’immediato futuro e nel lungo periodo, i migliori consigli che possono essere dati ai manager per gestire lo sviluppo. A questo livello, il monitoraggio va realizzato necessariamente attraverso un importante impegno lavorativo e temporale con lo scopo di formulare una previsione credibile: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ avendo accesso alle informazioni critiche,</li> <li>○ estendendo nel modo più ampio possibile la ricerca dei dati relativi ai fattori chiave,</li> <li>○ comprendendo quali fattori consentono e quali impediscono lo sviluppo di una tecnologia,</li> <li>○ richiedendo agli esperti di verificare la correttezza delle proiezioni dei possibili sviluppi futuri, organizzando una struttura dedicata al monitoraggio continuo.</li> </ul> </li> </ul>   |             |  |  |  |                                       |  |  |  |              |  |  |  |
| <p><b>Valutare e comunicare i risultati</b></p> | <p>Le informazioni raccolte con il processo di monitoraggio devono essere interpretate, analizzate, valutate, discusse con esperti esterni per comprendere quali sono le evoluzioni dei fattori critici selezionati. Quindi, i risultati dello stesso processo devono essere comunicati ai possibili utilizzatori, ovvero ai tecnici esperti che si occuperanno della successiva elaborazione delle previsioni.</p> <p>Per agevolare la comunicazione, devono essere adottate alcune specifiche tecniche che permettono la lettura immediata e la comprensione dei risultati, come ad esempio presentazioni multimediali, grafiche, testuali che evidenziano i fattori chiavi, i trend, le “pietre miliari”, ovvero quegli eventi rilevanti che portano a significativi miglioramenti delle performance di una tecnologia.</p> <div data-bbox="805 1238 1402 1509" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p style="text-align: center;"><i>Alto ----- Effetti sull'azienda ----- Basso</i></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;"><i>Alto</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"><i>Probabilità che si verifichino</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: bottom;"><i>Basso</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;"><i>Fig. 4.2 MATRICE DEGLI EFFETTI E DELLE PROBABILITÀ CHE SI VERIFICHINO</i></p> | <i>Alto</i> |  |  |  | <i>Probabilità che si verifichino</i> |  |  |  | <i>Basso</i> |  |  |  |
| <i>Alto</i>                                     |   |             |  |  |  |                                       |  |  |  |              |  |  |  |
| <i>Probabilità che si verifichino</i>           |   |             |  |  |  |                                       |  |  |  |              |  |  |  |
| <i>Basso</i>                                    |   |             |  |  |  |                                       |  |  |  |              |  |  |  |

## **CAP. 5 – LA DEFINIZIONE DEI PROGETTI DI INNOVAZIONE TECNOLOGICA E LE PREVISIONI: UNO STRUMENTO PER I MANAGER**

### **5.1 LA GESTIONE DELLE PREVISIONI DELLE INNOVAZIONI TECNOLOGICHE**

A partire dai dati e dalle informazioni raccolte nella precedente fase di monitoraggio all'interno dell'organizzazione e nel contesto di interesse, prende avvio la gestione del processo di previsione delle innovazioni tecnologiche.

Il sistema previsionale, con la sua natura teorica, empirica e probabilistica, è una delle tecniche di cui necessita il management per stimare il valore futuro dell'insieme delle variabili considerate e per la successiva gestione dei progetti di innovazione delle tecnologie adottate (che sono diffusi in tutti i settori aziendali, nei prodotti e nei processi), nonché per analizzare i conseguenti possibili effetti sociali (difficili da valutare nella loro complessità, assai volatili e facilmente alterabili per interventi imprevedibili dell'uomo su altri fattori) e sulle variabili economiche generati dal cambiamento tecnologico (ovvero, ad esempio, come cresceranno i guadagni conseguiti dalla vendita di prodotti rinnovati e la competitività dell'impresa).

Prima di avviare il processo, i manager devono determinare (Porter e Rossini, 1984):

- obiettivi chiari e dichiarati;
- una serie di possibili alternative di innovazione tecnologica;
- il tempo a disposizione degli esperti e la tecnica adottata;
- i fattori rispetto ai quali (almeno inizialmente) va circoscritto lo studio delle possibili variazioni;
- quale insieme di informazioni integrate si attendono necessariamente in esito alla ricerca, il loro grado di specificazione richiesta e le modalità di un'efficace sistema di comunicazione interna;
- il livello di incertezza che può essere tollerato;
- la disponibilità di risorse umane e di personale dotato di specifiche competenze, nonché le risorse finanziarie impiegate nella ricerca.

Quindi, le previsioni devono essere preparate tecnicamente da esperti attraverso:

- la modellizzazione della realtà (ovvero la semplificazione di questa);
- la scelta e la strutturazione di input specifici attraverso una fase di monitoraggio del contesto necessaria per la collezione di un ricco e vario insieme di dati disponibili e ritenuti utili, la loro analisi, la loro organizzazione e lo studio delle loro interrelazioni (i dati sono selezionati secondo il giudizio del tecnico ed ottenuti tramite il calcolo teorico, la letteratura esistente, e/o la raccolta tramite osservazione delle fonti individuate);
- l'adozione di una serie di idonee assunzioni (dalla cui validità dipendono i risultati della ricerca);
- l'utilizzo di tradizionali unità di misura quantitative delle variabili (calcolate per via teorica e/o empirica) e di opportuni metodi logici, chiaramente strutturati, descritti e replicabili, anche per verificare successivamente l'andamento reale dei processi.

Vista l'importanza strategica delle scelte di investimento e visto il pericolo che possano essere effettuate senza aver considerato alcuni input necessari ed in carenza di adeguate ipotesi sulle variabili e sui fattori rilevanti, le previsioni devono generare un output che contenga le informazioni realmente necessarie per i manager, devono essere redatte e comunicate in un formato credibile ed effettivamente utilizzabile rispetto alle decisioni da assumere ed agli obiettivi dell'impresa, nonché devono suggerire eventuali futuri utilizzi diversi delle tecnologie anche per scopi differenti rispetto a quelli più immediati.

Le previsioni così generate possono rappresentare un utile supporto agli stessi manager per prendere decisioni di investimento più opportune e più prudenti, avendo un'adeguata conoscenza degli obiettivi, dei fabbisogni e delle caratteristiche aziendali. Naturalmente, in considerazione del tempo e delle risorse disponibili, nel corso dell'evoluzione del processo possono essere valutati ed adottati degli aggiustamenti sul numero e sulla natura dei fattori socio-economici considerati, anche a seguito della verifica sul campo dell'importanza relativa degli stessi.

I manager gestiscono le scelte relative all'innovazione tecnologica in forte collegamento con il tempo, ovvero tengono conto delle esperienze già avute e dell'utilizzo attuale delle tecnologie disponibili. Inoltre, (Martino, 1983) decidono considerando le previsioni:

- sulle scoperte scientifiche e sulle possibili condizioni del futuro stato di sviluppo tecnologico;
- sulla probabile rapidità nell'adozione delle innovazioni, sul periodo di maturazione tecnologica delle stesse e sul tasso di sostituzione delle tecnologie obsolete;
- sui tempi di commercializzazione e sulla teorica diffusione e penetrazione nel mercato;

- sui rischi dei costi di investimento nei progetti di Ricerca e Sviluppo, ovvero nei termini di tasso atteso di crescita e sviluppo delle tecnologie e dei benefici rispetto all'efficienza dell'organizzazione e alla sua competitività;
- sul potenziale valore economico delle tecnologie sviluppate e, conseguentemente, sulla pianificazione rispetto all'allocazione delle risorse, al livello di produzione e delle scorte;
- sui vantaggi per la competitività dell'impresa conseguenti allo sviluppo di nuovi prodotti e processi, nell'ottica di perseguire gli obiettivi aziendali e di massimizzare gli utili e ridurre le perdite;
- sui miglioramenti che le innovazioni possono apportare all'interno dell'organizzazione (impianti, macchinari, attrezzature, personale);
- sulle politiche di supporto/sbarramento al cambiamento e sulle proprie responsabilità etiche e morali rispetto alle variazioni nella qualità della vita ed agli effetti sociali (stimabili con molta incertezza attraverso analisi di scenario, tecniche di regressione e valutazione degli indicatori socio-economici quantitativi e disaggregabili territorialmente, ovvero quelli demografici, occupazionali, sul livello di formazione, sulla situazione del welfare e della salute, sui fattori criminali, sull'ecosistema (tutti sottoposti a "perturbazioni" legate al giudizio socio-politico degli esperti, alle scelte su quali fattori considerare nell'analisi, ma in ogni caso utilizzabili al fianco delle suddette tecniche previsionali dirette, correlative e strutturali).

Uno degli elementi fondamentali disponibili per i manager per le scelte relative all'innovazione tecnologica è il tasso di sostituzione delle tecnologie, fondamentale sia per i produttori di quelle obsolete, sia per coloro che producono o scelgono di investire sui prodotti innovativi. Ad esempio, un prodotto può risultare tecnologicamente obsoleto rispetto ad un altro, ma, a seguito dell'analisi delle variabili economiche e dei tempi di sostituzione, potrebbe non convenire l'operazione di ritiro dal mercato e di dismissione degli impianti, considerati anche il costo gli investimenti già effettuati - in brevetti, risorse umane e finanziarie - e la verifica dell'andamento della domanda e dei prezzi. Così come, in molti casi, per la rapidità dell'introduzione di nuove tecnologie, le scelte di investimento in ricerca, sviluppo e implementazione devono essere effettuate assai anticipatamente nel tempo per evitare pericolosi ritardi che potrebbero far perdere importanti possibilità economiche o quote di mercato: queste

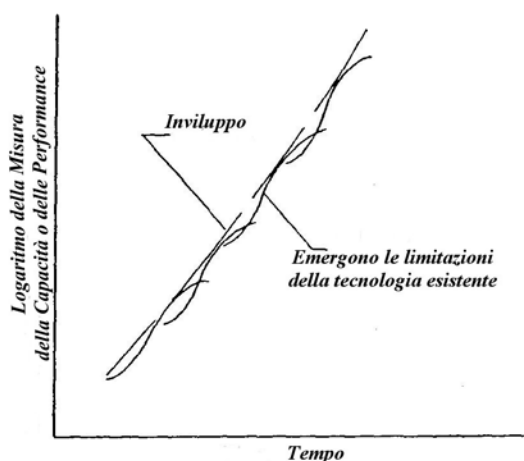


Fig. 5.1 DESCRIZIONE DELLE CAPACITÀ DI SVILUPPO DI UNA FAMIGLIA DI TECNOLOGIE

scelte sono ben descrivibili attraverso l'adozione del modello di Fisher-Pry, nel quale la curva di inviluppo disegna lo sviluppo cumulativo di una famiglia di tecnologie (*Fig. 5.1*).

I tempi di introduzione, progresso e maturazione delle tecnologie si stanno continuamente comprimendo (negli anni '70 erano tra i 10 ed i 25 anni, oggi sono assai minori) e, quindi, si ha un sempre più elevato tasso di sostituibilità delle stesse a seguito dell'accelerazione dei processi di innovazione e della rapidità di sviluppo delle singole tecnologie. Ciò è dovuto ai più consistenti investimenti atti a rispondere alle sempre più pressanti domande di mercato e di qualità dei prodotti, alla diffusione delle stesse su scala globale grazie all'evoluzione dei sistemi di comunicazione e di trasporto, alla competitività planetaria, ai necessari miglioramenti che devono essere continuamente forniti alle strutture aziendali ed alle competenze degli individui che vi lavorano.

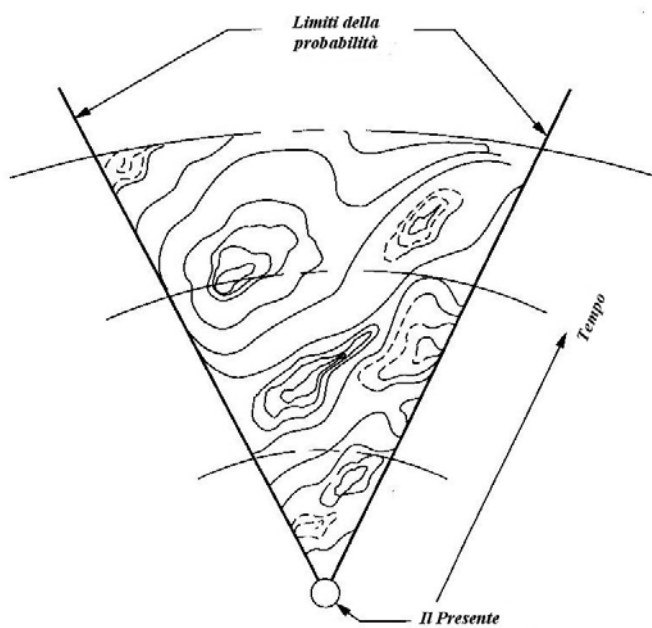
In ogni caso, è d'uopo rimarcare che le tecniche previsionali sono costruite sulla base di regole, principi e modelli dedotti sperimentalmente dall'osservazione ripetuta di fenomeni, a partire dai quali sono state generate labili teorie. Queste, inoltre, non sempre tengono adeguatamente conto dei contesti tecnici, economici, politici, sociali, etici ed ambientali dai quali sono state originate e nei quali vengono applicate. Questi contesti, infatti, hanno una forte rilevanza nello sviluppo, nell'adozione e nella diffusione delle innovazioni tecnologiche, nonché rispetto all'eventuale sbarramento imposto alle stesse e ai possibili ingenti danni economici per le aziende. Di norma, coloro che predispongono le previsioni non hanno adeguata conoscenza delle dinamiche e della volatilità dei suddetti contesti.

Dunque, gli esperti che si occupano di predisporre le previsioni hanno a disposizione delle tecniche caratterizzate dall'impossibilità di individuare tutti i possibili effetti collegati al mutamento del contesto, dalla carenza di una teoria generale e di informazioni adeguate, dall'impossibilità di effettuare esperimenti realmente efficaci e realistici: quindi, necessariamente, essi devono concentrarsi sull'analisi storica dei fenomeni manifestatisi, sugli insufficienti dati disponibili e, conseguentemente, sulla generazione di ipotesi relative a periodi di tempo limitati e alle trasformazioni di poche variabili rilevanti.

Inoltre, i tecnici che effettuano le previsioni sono soggetti ai naturali pregiudizi, consci o inconsci, generati dalla propria storia personale, cultura di riferimento, formazione, mentalità aziendale, ecc.... Ciò potrebbe comportare degli errori di valutazione nel momento in cui vanno determinate le assunzioni generali iniziali, che vengono poi utilizzate nei modelli previsionali logici, causando così dei macroscopici errori nella complessa costruzione di una previsione.

Oltre alla natura empirica, le previsioni sono caratterizzate dall'esistenza di forti incertezze e dall'adozione di validi modelli e teorie per stimare la probabilità che un evento si verifichi.

Naturalmente, anche in questo caso, è d'uopo considerare possibili errori nella definizione e nella misurazione (soprattutto quantitativa ma anche qualitativa) di tutte le variabili dirette e indirette che interessano i fenomeni (domanda di mercato, numero di lavoratori, concorrenza, variazione dei costi, ecc...), nella formula statistica adottata per la stima e/o nella valutazione del range delle incertezze. Ad esempio, la scelta di un parametro come la velocità di un veicolo ha una rilevanza maggiore nelle scelte di utilizzatore medio, mentre per un'impresa è più importante il volume di carico del mezzo.



*Fig. 5.2 MAPPA DEGLI SCENARI FUTURI DISEGNATA DA LIPINSKI E LOVERIDGE, 1982. (La probabilità correlata ad ogni traiettoria nella mappa è molto bassa e la somma delle probabilità di tutte le traiettorie è pari a 1. Nel terreno irregolare, i picchi rappresentano le opportunità e le valli rappresentano i pericoli)*

Coloro che strutturano le previsioni devono offrire ai manager un'analisi ragionata degli scenari possibili (Fig. 5.2), che mostrino i probabili "percorsi" (effetti) seguiti dall'azienda a valle delle scelte strategiche di investimento nell'innovazione tecnologica (cause), nonché le possibili opzioni di aggiustamento del "cammino" intrapreso grazie al monitoraggio dei risultati intermedi raggiunti e delle variazioni riscontrate rispetto alle assunzioni ed alle ipotesi iniziali. Naturalmente, nei suddetti scenari, le previsioni nel breve periodo saranno più accurate e più probabili nel materializzarsi rispetto a quelle relative ad un lungo orizzonte temporale: va rimarcato che sono necessarie entrambe

ai fini delle decisioni iniziali dei manager e delle successive modificazioni della "traiettoria" seguita. Gli errori nelle previsioni, nelle valutazioni e nelle successive scelte dei manager possono condurre ad investimenti "azzardati" in settori economici e/o contesti sociali non opportuni e, quindi, ad ingenti danni per l'impresa e la società.



Rispetto ad altre tipologie di processi, vi sono delle evidenti differenze di organizzazione e gestione dei team dedicati alla fase di previsione - costituiti ad hoc dai manager e raramente permanenti - dovute:

- all'eccessiva incertezza del valore reale delle variabili considerate nel futuro;
- alla difficoltà di reperire dati che spesso sono esterni all'organizzazione e fuori controllo;
- alla necessità di consegnare ai manager l'insieme di informazioni integrate da loro richieste, prima delle decisioni di investimento;
- alla difficoltà di far comunicare con l'opportuna tempestività e cooperare fra loro esperti in discipline assai distinte (scienziati, ingegneri, economisti, sociologi, ecc...) che hanno competenze eterogenee, livelli di conoscenza e visioni del mondo differenti, tecniche di studio diverse e che provengono da varie aree aziendali e/o spesso sono esterni all'azienda.

Normalmente gli esperti che si occupano del processo previsionale lavorano in un team articolato in gruppi (Rossini e Porter, 1981), nei quali vi può essere (*Fig. 5.3*):

- un'interazione intensiva fra tutti i soggetti del singolo gruppo, ognuno dei quali può apportare la propria analisi che viene comunicata, condivisa e discussa con tutti sino alla generazione del risultato (è un processo temporalmente lungo) ;
- la generazione di un modello comune da parte di un esperto - su base normativa o a partire dall'estrapolazione del trend di situazioni analoghe - su cui gli altri esperti discutono fra loro e apportano il proprio contributo per completarne e definirne le dinamiche (servono sistemi informatici di elevata capacità per verificare tutte le possibili combinazioni, anche con il rischio di aver sottovalutato alcuni fattori importanti) ;
- la negoziazione fra esperti di differenti aree aziendali, ognuno dei quali apporta una propria analisi che viene poi integrata attraverso una serie di discussioni con gli esperti delle altre aree con cui decide di comunicare;
- un leader, l'unico con il quale gli altri esperti comunicano, che è in grado di comprendere e di integrare i vari contributi degli esperti (anche in questo caso il processo può essere temporalmente lungo, ma il leader può regolarne l'avanzamento per concluderlo nei tempi richiesti).

A livello di comunicazione interna, la generazione di un modello e la negoziazione fra esperti sono quelli migliori, poiché i singoli contributi possono essere liberamente scambiati fra gli esperti, ottenendo un buon livello di condivisione delle conoscenze, nonché superando l'isolamento relazionale presente nella quarta possibile articolazione (con il leader) e l'eccesso di comunicazione presente nella prima possibile forma di articolazione (l'interazione totale tra gli esperti).

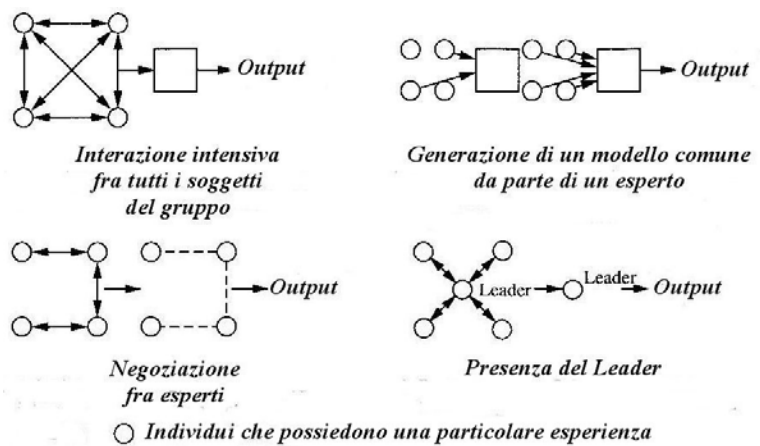


Fig. 5.3 LE 4 POSSIBILI ARTICOLAZIONI DI UN TEAM CHE GESTISCE UN PROGETTO DI PREVISIONE

In alcuni casi, le aziende hanno a disposizione un solo esperto che dovrebbe essere in grado di rispondere alle suddette problematiche e possedere un range di conoscenze, creatività, capacità di analisi troppo ampio rispetto alle possibilità individuali.

Per generare le previsioni rispetto ad un problema ben definito, i team di esperti adottano tecniche di brainstorming, con lo scopo di accrescere la creatività del gruppo e le dinamiche di interazione all'interno dello stesso, di esaltare l'elasticità e l'originalità individuale, di sfruttare la capacità soggettiva di percepire correlazioni e opportunità che non sono palesi. Gli esperti devono essere in grado di cooperare alla pari, di frazionare il problema, di analizzarlo da molteplici punti di vista, di rispondere ad una serie di domande volte a stimolare la creatività, di riscontrare analogie e di generare con fluidità un consistente insieme di parole chiave ed idee - non correlate fra loro e continuamente ricombinate anche in modo innovativo - sospendendo necessariamente e temporaneamente il giudizio durante la sessione di lavoro (per evitare limitazioni alla formazione di opzioni tendenzialmente inutili ma riutilizzabili positivamente in altri contesti). In questo modo, guidato e motivato dal proprio leader, il team otterrà - come risultato - le previsioni rispetto alle possibili combinazioni di alternative che il futuro potrebbe serbare.

Il brainstorming rappresenta un esempio di applicazione del cosiddetto "pensiero laterale", ovvero dell'esaltazione della creatività per individuare un insieme di possibili ed innovativi percorsi alternativi al di fuori dei modelli dominanti. Si procede ad una selezione all'intero del paniere delle opzioni ipotizzate ed individuate, determinando la bontà del singolo percorso in base alla fattibilità tecnica, economica e legale. I risultati della selezione saranno successivamente valutati - cosiddetto

“pensiero verticale” - per scegliere l’alternativa migliore tra quelle verificate e, quindi, per svilupparla.

## **5.2 I METODI E LE TECNICHE DISPONIBILI**

Per effettuare le previsioni sono disponibili le seguenti tecniche che sono classificate genericamente in base alle modalità utilizzate per generare informazioni. Ogni singolo metodo è peculiare, ha una propria specifica adattabilità ad un determinato contesto decisionale e può essere scelto singolarmente o integrato nell’ambito di in una strategia:

|                    |   |  |
|--------------------|---|--|
| <b>Dirette</b>     | Si basano sulla stima diretta di quei parametri che misurano la capacità funzionale e le altre caratteristiche rilevanti delle tecnologie (sulla base di assunzioni statiche e senza un’esplicita ed un’adeguata correlazione con le dinamiche del contesto di applicazione)  | <u>Estrapolazione</u> , finalizzata - tramite differenti tipologie di analisi statistica – alla proiezione dell’attuale trend delle variabili nel futuro, ottenuta attraverso lo sviluppo nel tempo di una serie di dati collezionati (che siano adeguati ed attendibili, pur se temporalmente e quantitativamente limitati, nonché scelti in base a parametri arbitrari). La tecnica fornisce buoni risultati sul breve periodo per analizzare l’introduzione e la sostituzione di tecnologie   |
|                    |   | Opinione dell’esperto, basata sull’ipotesi che un professionista può prevedere - meglio di altri - gli sviluppi tecnologici nel proprio contesto di riferimento, di cui possiede una specifica conoscenza, ha una propria visione sulla natura e sulle probabilità del cambiamento. È una tecnica che pone in risalto una certa attenzione soggettiva al mutamento del contesto, ma in genere le previsioni prodotte sono ambigue ed hanno uno scarso esito. I risultati sono leggermente migliori quando cooperano gruppi di esperti nei rispettivi ambiti di competenza, ma sono difficili da identificare |
| <b>Correlative</b> | Mettono in relazione lo sviluppo di una tecnologia con il progresso o il cambiamento di uno o più fattori nel proprio contesto o in contesti simili (sulla base di assunzioni statiche)   | Analogia, utile per generare i possibili sviluppi attraverso l’analisi di processi precedentemente conosciuti e simili a quelli in fase di studio  |
|                    |   | Analisi di Scenario, finalizzata a delineare un ipotetico futuro stato di sviluppo tecnologico del sistema studiato (fornisce informazioni non eccessivamente dettagliate)   |
|                    |   | Matrice degli effetti, utile per analizzare l’interazione fra differenti fattori tecnologici, senza però applicare l’analisi causa-effetto (per esempio, come i miglioramenti adottati nell’aviazione militare sono anche applicabili nell’aviazione civile)   |
| <b>Strutturali</b> | Operano attraverso l’adozione di modelli teorici (che semplificano la struttura e la dinamica della realtà per rendere il problema trattabile ed escludere dettagli inutili), adeguate assunzioni iniziali (statiche) e l’esplicito esame delle importanti relazioni strutturali causa-effetto che generano il progresso tecnologico, anche rispetto ai fattori caratterizzanti il contesto di applicazione (ognuna delle suddette scelte è fondamentale per il buon esito della previsione, che può essere inficiata dal giudizio umano) | <u>Normative</u> , valide per definire le azioni da compiere e le innovazioni da introdurre per raggiungere uno stato futuro desiderato, partendo da questo ed individuando all’indietro gli sviluppi necessari per raggiungere tale obiettivo   |
|                    |   | Analisi della regressione  |
|                    |   | Diagrammi di flusso, utili per visualizzare semplicemente il quadro delle molteplici connessioni tra i vari fattori e la tecnologia  |
|                    |   | Simulazioni (anche computerizzate e/o multimediali), finalizzate a quantificare matematicamente le relazioni tra i vari fattori interessati e generare una fotografia istantanea del futuro e/o un insieme di possibili realistici percorsi che conducono dal presente al futuro, sulla base di dati quantitativi e qualitativi. È molto utile per comunicare i possibili sviluppi tecnologici ad una platea composta da non esperti.  |

### **5.3 ALCUNI STRUMENTI PER L'ESTRAPOLAZIONE DEL TREND TECNOLOGICO**

L'estrapolazione del trend è un metodo previsionale che sfrutta le informazioni sul passato per proiettarle nel futuro e prevedere cosa accadrà attraverso tecniche matematiche e statistiche applicate a dati quantitativi storici. In sostanza, si ottiene un modello costruito in base all'esperienza ed all'assunzione di una "regola" che dovrebbe "governare" il processo di sviluppo tecnologico.

L'estrapolazione del trend può essere effettuata con semplici tecniche di analisi ed attraverso modelli ad elevata complessità che richiedono computer potenti per essere applicati, senza però assicurare con certezza una valida previsione del trend futuro, che risulta fortemente influenzata dalla qualità delle informazioni iniziali.

Innanzitutto, questo metodo è adottato da coloro che effettuano le previsioni sotto l'ipotesi di operare in un contesto stabile - almeno relativamente ad alcuni fattori critici ritenuti fondamentali – e che le caratteristiche tecniche progrediscono secondo modalità relativamente ordinate e prevedibili: è questa un'assunzione non sempre corretta, considerata l'esistenza di discontinuità nel processo di innovazione tecnologica, ma che risulta valida quando un complesso insieme di piccole influenze mitiga le stesse discontinuità (in sostanza, la tecnica è adottabile quando si procede attraverso una serie di continui progressi ingegneristici piuttosto che nel caso di un'invenzione dirompente).

Inoltre, i risultati delle previsioni dipendono da complessi, incerti ed incontrollabili fattori socio-economici (quali il miglioramento delle tecnologie concorrenti, un periodo di recessione economica, la variazione del tasso d'interesse, il cambiamento dei vertici politici di una nazione, un disastro naturale) che sono a loro volta influenzati da forti discontinuità causate da innovazioni dirompenti: tutto ciò può provocare delle ovvie divergenze rispetto al trend previsto nel futuro, imponendo l'esigenza di effettuare le analisi di sensibilità rispetto a possibili eventi e di presentare più di una possibile ipotesi alternativa di progresso tecnologico (con l'indicazione dei correlati margini di "confidenza", ovvero di variabilità).

I criteri fondamentali per selezionare le variabili appropriate per i metodi di estrapolazione sono:

- l'adeguata conoscenza della tecnologia e delle sue applicazioni;
- la scelta di fattori che consentono di misurare il livello di funzionalità della nuova tecnologia e delle tecnologie da essa sostituite, in modo da favorire gli opportuni confronti;
- la disponibilità, per quanto possibile, di dati sulle stesse variabili per poter quantificare l'andamento storico dei valori (è l'unico modo per ottenere previsioni più realistiche possibili).

Ad esempio, per ottenere una buona estrapolazione del trend futuro dello sviluppo di una certa tecnologia, si potrebbe misurare, come fattore critico, il dato storico certo del numero delle vendite di un certo prodotto (ovvero il numero di famiglie acquirenti di una nuova tecnologia) piuttosto che effettuare le stime future sulla base dei potenziali compratori. Naturalmente, nei casi in cui non esistono dati “certi”, la scelta delle variabili da misurare non è così ovvia e spesso è necessario raggiungere un compromesso nella scelta dei fattori studiati, tra quelli ritenuti più opportuni e quelli di cui si dispongono dati validi.

Per effettuare le previsioni sul breve periodo, senza considerare esplicitamente le influenze generate dal contesto e gli effetti indotti su questo, è possibile utilizzare alcuni semplici modelli di estrapolazione, che si differenziano in base al modo di utilizzo dei dati storici collezionati e, quindi, al risultato del processo che è qualitativamente diverso. Il raffinamento di questi semplici modelli passa per:

- una più attenta considerazione del comportamento passato di una variabile utile a stimare la traiettoria futura;
- l’adattamento della stessa traiettoria sulla base delle conoscenze di fenomeni similari;
- la definizione di ipotesi sull’esistenza di relazioni causali fra le variabili.

### I MODELLI SEMPLICI DI ESTRAPOLAZIONE DEL TREND TECNOLOGICO

Il più semplice modello di estrapolazione prevede che domani accadrà esattamente ciò che è successo oggi: al tempo  $t + 1$  non si attende alcun cambiamento di valore per il fattore  $X$  rispetto al tempo  $t$  (ad esempio, il numero di unità vendute in un anno sarà uguale al numero di unità vendute l’anno successivo, senza variazione alcuna della propria quota di mercato),

$$X_{t+1} = X_t \tag{5.1}$$

Questo modello di estrapolazione è fuorviante, poiché è troppo prudente per un’azienda in fase di sviluppo e troppo ottimistico per un’impresa in declino, generando in entrambi i casi investimenti non adeguati. Se, ad esempio, il numero di unità vendute cresce ogni anno, il potenziale della tecnologia di un prodotto è maggiore di quello previsto e, quindi, non investendo preventivamente si perderebbero quote di mercato. Se, al contrario, la concorrenza ha sviluppato una tecnologia più competitiva, la quota di mercato si ridurrebbe drasticamente al di fuori di ogni possibile previsione.

| ANNO | NUMERO DI PEZZI VENDUTI |
|------|-------------------------|
| 1993 | 9.800.000               |
| 1994 | 10.800.000              |
| 1995 | 11.900.000              |
| 1996 | 13.000.000              |
| 1997 | 14.100.000              |
| 1998 | 16.000.000              |
| 1999 | 18.300.000              |
| 2000 | 21.000.000              |
| 2001 | 25.000.000              |
| 2002 | 30.000.000              |
| 2003 | 31.300.000              |
| 2004 | 37.500.000              |
| 2005 | 39.700.000              |

Tab. 5.a

Naturalmente, tenendo conto dei dati indicati nella presente tabella *Tab. 5.a*, una previsione effettuata esclusivamente nel 1993, applicando la formula (5.1), determinerebbe una quota fissa di mercato pari a **9.800.000** pezzi venduti dal 1994 in poi, con un errore sulla stima che cresce con il passare del tempo.

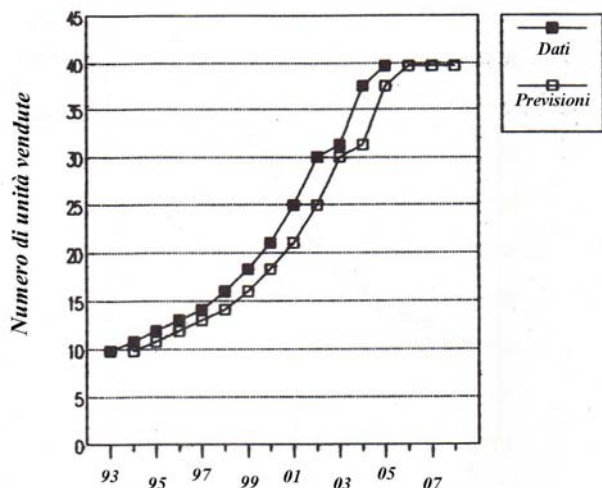


Fig. 5.4 DATI STORICI RELATIVI ALLO SVILUPPO E ALLA PREVISIONE SECONDO LA FORMULA (5.1)

Il risultato potrebbe essere diverso se alla fine di ogni anno si effettuasse una nuova previsione sul numero di unità vendute. Ciò potrebbe essere attuato sino a quando vi saranno dati storici disponibili: dunque, dal 2006 al 2008 si adotterà nuovamente la quota fissa di mercato uguale a quella risultante nel 2005.

Questo modello di estrapolazione può essere reso più sofisticato considerando i dati storici collezionati ed assumendo che la crescita incrementale del numero di unità vendute durante l'anno sarà identica a quella dell'anno precedente (Fig. 5.5), secondo la formula

$$X_{t+1} = X_t + (X_t - X_{t-1}) \quad (5.2)$$

che, applicata alla stima del numero di unità vendute nel 1996, darebbe come risultato corretto

$$X_{1996} = 11.900.000 + (11.900.000 - 10.800.000) = 13.000.000$$

ma che non sarà altrettanto accurata per gli anni successivi (più saranno utilizzati i dati storici collezionati, più il risultato della previsione sarebbe prossimo alla realtà).

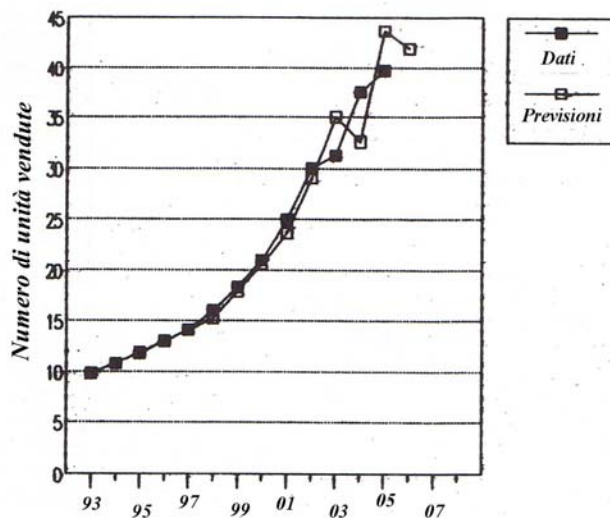


Fig. 5.5 DATI STORICI RELATIVI ALLO SVILUPPO E ALLA PREVISIONE SECONDO UN MODELLO DI CRESCITA ANNUALE COSTANTE SECONDO LA FORMULA (5.2)

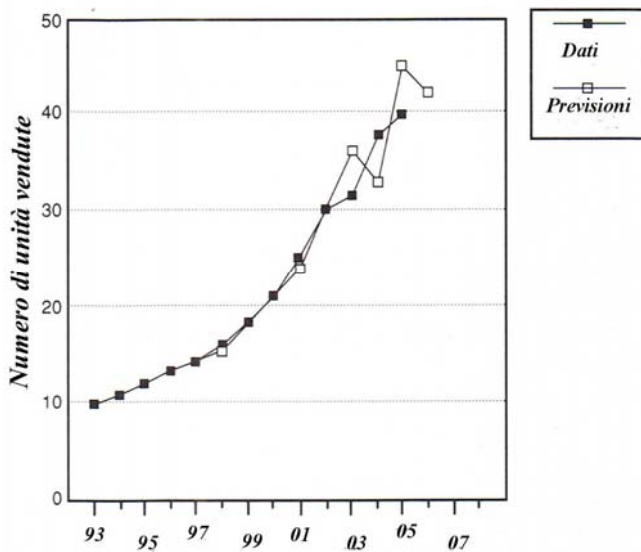


Fig. 5.6 DATI STORICI RELATIVI ALLO SVILUPPO E ALLA PREVISIONE SECONDO UN MODELLO DI CRESCITA FRAZIONARIA COSTANTE SECONDO LA FORMULA (5.3)

Sempre considerando i dati storici collezionati, si può usare un'altra formulazione assumendo che la crescita frazionaria del numero di unità vendute (Fig. 5.6) sarà identica da un anno all'altro, secondo la formula

$$X_{t+1} = X_t (X_t / X_{t-1}) \quad (5.3)$$

che, applicata alla stima del numero di unità vendute nel 1996, essendo noto il

dato del 1995, darebbe come risultato  $X_{1996} = 13.112.000$ . Le previsioni

saranno simili a quelle ottenute con la

formula (5.2), ma divergeranno poi negli anni successivi per il differente effetto composto del modello di calcolo della crescita.

Considerato che i precedenti semplici modelli di estrapolazione dipendono solo dagli ultimi dati acquisiti e visto che possono essere perse o non utilizzate completamente le importanti informazioni comprese nei primi dati acquisiti, esiste un'ulteriore formulazione che consente di effettuare la previsione dei valori futuri di una data variabile "pesando" la somma dei dati storici collezionati, attraverso la seguente espressione

$$X_{t+1} = \sum_{i=0}^n w_{t-i} X_{t-i} \quad (5.4)$$

dove  $X_t$  rappresenta il valore della variabile al tempo  $t$  e  $w_{t-i} = \frac{a(1-a)^i}{d}$  è il peso che viene assegnato al valore della variabile al tempo  $(t-i)$ . Inoltre, si ha  $0 < a < 1$  (in generale è tra  $0,2$  e  $0,4$ ) e  $d$  rappresenta la somma dei numeratori di tutti gli elementi  $w_i$ .

Questa formulazione tende a ridurre esponenzialmente le fluttuazioni periodiche dei valori che possono verificarsi di anno in anno, dando maggior peso ai dati storici collezionati recentemente - considerati più importanti - rispetto a quelli raccolti nel passato (secondo un modello di decremento esponenziale).

Se, per esempio, su un calcolo di tre periodi ( $i = 3$ ) si assumesse  $a = 0,5$ , si otterrebbe

$$w_{t-1} = \frac{0,5(1-0,5)^1}{d} = \frac{0,25}{d} ; w_{t-2} = \frac{0,5(1-0,5)^2}{d} = \frac{0,125}{d} ;$$

$$w_{t-3} = \frac{0,5(1-0,5)^3}{d} = \frac{0,0625}{d}$$

e visto che  $d = 0,25 + 0,125 + 0,0625 = 0,4375$ , si otterrebbe  $w_{t-1} = 0,571$ ,  $w_{t-2} = 0,286$  e  $w_{t-3} = 0,143$  e, quindi, il valore stimato per il numero di unità vendute del 1996 sarebbe

$$X_{1996} = 0,571(11.900.000) + 0,286(10.800.000) + 0,143(9.800.000) = 11.285.000 .$$

### LE REGRESSIONI LINEARI E NON LINEARI

Uno strumento molto utilizzato per l'estrapolazione del trend tecnologico è la tecnica della regressione lineare che può essere adottata nei casi in cui la relazione tra le variabili sia lineare o sia ad essa matematicamente riconducibile. A differenza di quanto avviene per i semplici modelli di estrapolazione, oltre alle proiezioni autonome nel futuro delle singole variabili, la regressione lineare considera le relazioni causali tra le stesse (non sempre scoperte o pienamente note), nonché le loro interazioni passate e le influenze generate dal contesto (che, se non note, potrebbero generare imprevedibili e drastiche variazioni degli andamenti).

Lo scopo è di sviluppare un modello strutturale che accresca la qualità delle previsioni, secondo la formula:

$$Y = a + bX + e \quad (5.5)$$

dove  $Y$  rappresenta la variabile dipendente della quale si prevedono i valori futuri attraverso la relazione causale con la variabile indipendente  $X$  ad essa linearmente correlata,  $a$  è l'intercetta,  $b$  è l'inclinazione della funzione (coefficiente di regressione di  $Y$  su  $X$ ) ed  $e$  rappresenta una stima cautelativa dell'errore tra il valore previsto per  $Y$  e il dato realmente osservabile (perché, naturalmente, la relazione reale potrebbe essere non lineare e/o potrebbero esistere altre variabili non considerate). In generale, il modello di regressione tra due variabili dovrà essere, dunque, più sofisticato.

La tecnica di regressione con il criterio dei minimi quadrati consente di stimare i valori delle costanti  $a$  e  $b$ , minimizzando la somma dei quadrati delle deviazioni (errori) tra i valori previsti ed osservati di  $Y$ , ovvero è possibile generare una mappa nella quale si assegna un maggior "peso" ai dati collocati in "posizione isolata" (lontana) rispetto alla curva di regressione per decidere - in



base alle interrelazioni esistenti e all'affidabilità dei dati utilizzati - se lasciarli nelle proprie "posizioni", correggerli oppure escluderli nelle successive iterazioni.

Molte interrelazioni tra variabili interessanti nel cambiamento tecnologico seguono modelli di sviluppo non lineare (come dimostrano le curve ad S oppure i dati esponenziali raccolti relativamente alle innovazioni nel settore dei micro-chip) e per trattarle vengono ricondotte a formulazioni lineari.

Ad esempio, ciò può avvenire attraverso l'utilizzo dei logaritmi, per mezzo dei quali  $Y = aX^b$  può essere trasformata in  $Z = \log Y = \log a + b \log X$ , dove  $Z = \log Y$  e  $\log X$  rappresentano rispettivamente la variabile dipendente e la variabile indipendente di una nuova relazione lineare (naturalmente per determinare il valore stimato di  $Y$  si dovrà poi usare la funzione di antilogaritmo). Così pure  $Y = a + bX + cX^2$  può essere trasformata in  $Y = a + bX + cZ$ , dove  $X^2$  è trattata come fosse una variabile  $Z$  avente una relazione lineare con  $Y$ . Ed ancora, nel modello di Pearl, si ha  $Y = \ln \left[ \frac{(L-Z)}{Z} \right]$  con  $L$  che rappresenta il limite superiore di sviluppo.

In altri casi, una variabile  $Y$  può risentire dell'influenza di più di una variabile indipendente collegata allo sviluppo tecnologico e/o al contesto di riferimento, i cui dati storici devono essere necessariamente considerati in una regressione multipla - tipo  $Y = a + bX + cZ + e$  con le variabili indipendenti poste su un piano appartenente ad uno spazio tridimensionale - per migliorare e rendere più precisa la stima dei valori futuri della variabile dipendente (ad esempio, nel caso precedente, il numero di unità vendute poteva essere collegato, oltre che al tempo ed al reddito netto annuale, anche al mercato potenziale).

Infine, nella regressione, potranno essere considerate "variabili dummy", che assumeranno solo i valori  $0$  e  $1$  (ad esempio, in relazioni a particolare periodi dell'anno la variabile " $I$ " assumerà il valore  $1$  in inverno e  $0$  in estate, modificando l'intercetta della curva di regressione in base al periodo).

La tecnica della regressione lineare a due variabili può essere, ad esempio, applicata ai dati indicati nella presente tabella, ipotizzando una relazione lineare tra il numero di unità vendute ( $Y$ ), espresso in migliaia, ed il tempo ( $X$ ) - senza le cifre indicanti il millennio - adottando la formula  $y_i = a + bX_i + e$ , dove  $i$  è relativo ad ogni dato.

| $X$ | $x$   | $x^2$ | $Y$    | $y$    | $xy$     | $(Y_i - \hat{Y}_i)$ | $(Y_i - \hat{Y}_i)^2$ |
|-----|-------|-------|--------|--------|----------|---------------------|-----------------------|
| 93  | -1,50 | 2,25  | 9.800  | -1.575 | 2.362,50 | 30,00               | 900,00                |
| 94  | -0,50 | 0,25  | 10.800 | -575   | 287,50   | -40,00              | 1.600,00              |
| 95  | 0,50  | 0,25  | 11.900 | 525    | 262,50   | -10,00              | 100,00                |
| 96  | 1,50  | 2,25  | 13.000 | 1.625  | 2.437,50 | 20,00               | 400,00                |

Innanzitutto, è necessario determinare i valori delle costanti che meglio si adattano ai dati disponibili, calcolando le formule

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = \frac{5.350}{5,0} = 1.070$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} = 11.375 - 1.070 \times 94,5 = -89.740$$

dove  $n$  è il numero di osservazioni effettuate e  $x_i = X_i - \bar{X}$  rappresenta lo scarto della  $i$ -esima valore osservato rispetto alla media (ovvero la differenza tra i singoli valori osservati di  $X$  e la media  $\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} = 94,5$ ).  $b$  è, dunque, calcolato come il rapporto tra la covarianza di  $X$  ed  $Y$  e la varianza di  $X$ .

La varianza di  $Y$  si calcola come

$$s_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{(n-1)}$$

e l'errore standard si calcola, utilizzando la somma dei quadrati dei residui, come

$$s_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(n-2)} = \frac{3.000}{2} = 1.500$$

dove  $\hat{Y} = a + bX$  rappresenta la stima del valore di  $Y$  e, quindi,  $\hat{Y}_i = -89.740 + [1.070(X_i)]$ .

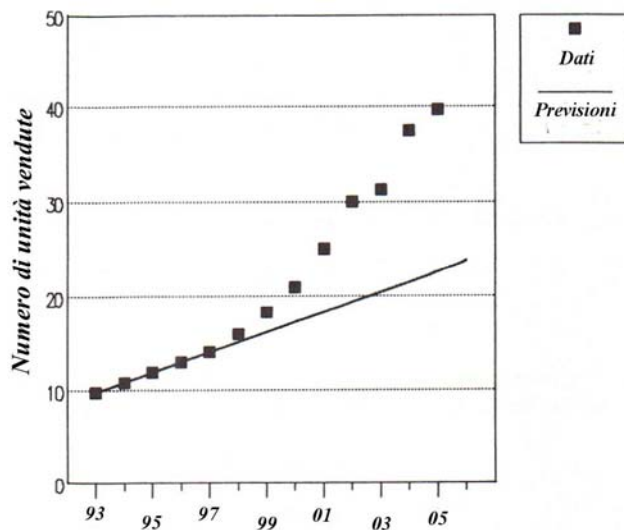


Fig. 5.7 DATI STORICI RELATIVI ALLO SVILUPPO E ALLA PREVISIONE SECONDO UN MODELLO DI CRESCITA LINEARE PROIETTATO SULLA BASE DI UN CALCOLO DI REGRESSIONE SUI PRIMI 4 DATI DISPONIBILI

Attraverso la tecnica della regressione lineare (Fig. 5.7) è possibile calcolare l'anno in cui si raggiungerà un numero di unità vendute pari a  $30.000 = -89.740 + [1.070(X)]$ , ovvero  $X = 111,9$  (circa nel 2012) che è molto lontano dal dato reale 2002, evidenziando che esiste un modello non lineare di crescita che sconfessa l'assunzione di linearità nella correlazione tra le variabili scelte.

Infatti, allo stesso modo, se volessimo prevedere il numero di unità vendute nel 2005, si applicherà la formula  $\hat{Y}_i = -89.740 + [1.070(105)] = 22.610$ , il cui risultato è molto lontano dal reale valore **39.700**.

Più la previsione si allontana nel tempo rispetto ai 4 dati iniziali considerati, più cresce l'errore rispetto ai valori previsti per la  $Y$ . Il margine di confidenza dell'errore - collegato ai tre possibili errori rispetto alla linea di regressione, alla media e all'estensione della curva - è teoricamente calcolabile come:

$$\pm t_{\alpha/2, d.f.=n-2} \sqrt{s_e^2 \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_* - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \right)}$$

con  $t$  valore statistico estrapolabile dalla un'apposita tabella statistica delle distribuzioni e  $X_*$  valore della variabile  $X$  relativo all'anno obiettivo dell'estrapolazione. Dunque, assumendo un margine di confidenza del **50%**, si otterrà  $\frac{\alpha}{2} = \frac{1-0,5}{2} = 0,25$  e, con un grado di liberta  $N - 2 = 2$ , risulterà  $t_{0,25,2} = 0,816$ . Inoltre, essendo

$$\frac{(X_* - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = \frac{(10,5)^2}{5,0} = 22,05$$

il grado di confidenza sarà

$$\pm 0,816 \sqrt{1.500 \left(1 + \frac{1}{4} + 22,05\right)} = \pm 0,816 \sqrt{34.950} = \pm 153$$

In questo modo si ottiene il lower bound e l'upper bound del numero di unità vendute previste sempre per il 2005, cioè  $\hat{Y}_i = -89.740 + [1.070(105)] \pm 153 = 22.610 \pm 153$ , che però è ancora molto lontano dal reale valore **39.700**. Dunque, la correlazione tra due variabili non sempre comporta l'esistenza di un nesso di causalità, diretta o indiretta, ma soprattutto non è detto che la relazione sia lineare (ma in questo caso si partiva con una regressione calcolata sulla base di soli 4 dati storici).

Se, ad esempio (Tab. 5.b), la regressione lineare fosse adottata nel caso della correlazione tra il numero di unità vendute ( $Y$ ), espresso in migliaia, ed il reddito netto ( $X$ ) espresso in miliardi (considerando la moneta a valore bloccato), su un numero di casi più ampio (ovvero  $n = 13$ ), essa fornirà come risultato la formula  $\hat{Y}_i = -66.137 + [82,69(X_i)]$ .

| ANNO | REDDITO NETTO<br>REALE<br>(IN MILIARDI) | NUMERO DI PEZZI<br>VENDUTI<br>(IN MIGLIAIA) |
|------|---|---|
| 1993 | 875                                     | 9.800.000                                   |
| 1994 | 904                                     | 10.800.000                                  |
| 1995 | 940                                     | 11.900.000                                  |
| 1996 | 983                                     | 13.000.000                                  |
| 1997 | 1.012                                   | 14.100.000                                  |
| 1998 | 1.027                                   | 16.000.000                                  |
| 1999 | 1.042                                   | 18.300.000                                  |
| 2000 | 1.054                                   | 21.000.000                                  |
| 2001 | 1.088                                   | 25.000.000                                  |
| 2002 | 1.156                                   | 30.000.000                                  |
| 2003 | 1.190                                   | 31.300.000                                  |
| 2004 | 1.238                                   | 37.500.000                                  |
| 2005 | 1.255                                   | 39.700.000                                  |

Tab. 5.b

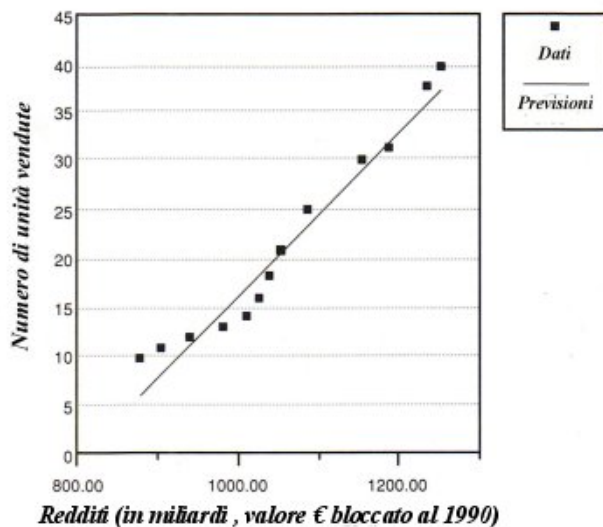


Fig. 5.8 STIMA DEL NUMERO DI UNITÀ VENDUTE CON MONETA A VALORE BLOCCATO

Sempre considerando la moneta a valore bloccato (Fig. 5.8), se, ad esempio, si stima in **1.360 miliardi** il valore del reddito netto nel 2008, il corrispondente numero di unità vendute potrà essere stimato in circa

$$\hat{Y}_i = -66.137 + [82,69(1.360)] = 46.325$$

Dunque, assumendo un margine di confidenza del **90%**, si otterrà  $\frac{\alpha}{2} = \frac{1-0,9}{2} = 0,05$  e, con un grado di libertà  $N - 2 = 11$ , risulterà  $t_{0,05,11} = 1,796$ . Inoltre, essendo

$$s_e^2 = 4.852.825 \text{ ed } \frac{(X_* - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = 0,51, \text{ il}$$

grado di confidenza sarà

$$\pm 1,796 \sqrt{4.852.825 \left(1 + \frac{1}{13} + 0,51\right)} = \pm 4.978$$

e, quindi, il lower bound e l'upper bound del numero di unità vendute previste saranno rispettivamente **41.347** e **51.303** (da  $\hat{Y}_i = 46.325 \pm 4.978$ ), ovvero il valore previsto risulterà attendibile.

Per sapere se la regressione lineare rappresenta un valido modello per una certa previsione di sviluppo tecnologico, è possibile effettuare una serie di test statistici:

- attraverso il test dell'  $R^2$  è possibile verificare la bontà dei valori stimati per mezzo dei dati storici disponibili, ovvero se il modello è efficace nel descrivere la traiettoria della variabile dipendente  $Y$ , tramite le medie del coefficiente di determinazione

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

che per l'esempio considerato sarebbe **0,958**, ovvero circa il **96%** della variazione nel numero di unità vendute si spiegherebbe con le variazioni del reddito netto annuale (quindi, una buona stima del reddito netto può produrre delle buone previsioni del relativo numero di unità vendute, almeno fino a quando non si dovessero verificare sostanziali modifiche nell'interrelazioni tra le due variabili e nel contesto di riferimento).

- attraverso l'F-test è possibile verificare l'adeguatezza del modello, chiarendo l'esistenza di una relazione reale tra le variabili dipendenti ed indipendenti, calcolando i valori legati alla variabile  $Y$  come se tutti i coefficienti dell'equazione di regressione fossero nulli.

**Porzione della tavola della Distribuzione Standard F**

| d.f. of Denominator | Probability | d.f. of Numerator |      |      |      |      | ... |
|---------------------|-------------|-------------------|------|------|------|------|-----|
|                     |             | 1                 | 2    | 3    | 4    | 5    |     |
| 10                  | 0.25        | 1.49              | 1.60 | 1.60 | 1.59 | 1.59 | ... |
|                     | 0.10        | 3.29              | 2.92 | 2.73 | 2.61 | 2.52 | ... |
|                     | 0.05        | 4.96              | 4.10 | 3.71 | 3.48 | 3.33 | ... |
|                     | 0.01        | 10.00             | 7.56 | 6.55 | 5.99 | 5.64 | ... |
| 11                  | 0.25        | 1.47              | 1.58 | 1.58 | 1.57 | 1.56 | ... |
|                     | 0.10        | 3.23              | 2.86 | 2.66 | 2.54 | 2.45 | ... |
|                     | 0.05        | 4.84              | 3.98 | 3.59 | 3.36 | 3.20 | ... |
|                     | 0.01        | 9.65              | 7.21 | 6.22 | 5.67 | 5.32 | ... |
| 12                  | 0.25        | 1.46              | 1.56 | 1.56 | 1.55 | 1.54 | ... |
|                     | 0.10        | 3.18              | 2.81 | 2.61 | 2.48 | 2.39 | ... |
|                     | 0.05        | 4.75              | 3.89 | 3.49 | 3.26 | 3.11 | ... |
|                     | 0.01        | 9.33              | 6.93 | 5.95 | 5.41 | 5.06 | ... |

Tab. 5.c

Prima di tutto è necessario determinare – tramite un'apposita tabella statistica (Tab. 5.c) - un valore critico di F dipendente dai gradi di libertà dell'insieme di dati utilizzati nello stesso modello (numero di variabili indipendenti  $k = 1$  da inserire nel numeratore di F), dai gradi di libertà del numero di dati utilizzati per costruirlo diminuito del numero di variabili indipendenti e di 1, ovvero  $n - k - 1 = 13 - 1 - 1 = 11$  (che è poi il numero di gradi di libertà del denominatore di F), dalla probabilità stimata di errore che gli esperti delle previsioni potrebbero commettere nel supporre una relazione tra le variabili dipendenti ed indipendenti. Il valore critico di F sarebbe **4,84** qualora si assumesse il **5%** di probabilità di errori da parte degli esperti e sarebbe **9,65** per la probabilità dell' **1%**. A questo punto, si potrebbe calcolare

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{k s_e^2} = 252,55$$

e poiché il suo valore sarebbe molto più grande del suddetto valore critico, significa che dovranno essere respinte le eventuali ipotesi di assenza di relazione tra le variabili dipendenti ed indipendenti con una probabilità di errore molto più bassa dell' **1%**.

- attraverso il t-test del coefficiente di regressione è possibile verificare che i valori reali di  $a$  e di  $b$  - ovvero dei coefficienti delle variabili - siano diversi da zero. Tramite un'apposita tabella statistica (Tab. 5.d) deve essere determinato un valore critico di  $t$ , dipendente dai gradi di libertà del numero di dati utilizzati per costruirlo diminuito del numero di variabili indipendenti e di 1 (ovvero  $n - k - 1 = 13 - 1 - 1 = 11$  con  $k = 1$  che rappresenta il numero di variabili indipendenti). Il valore critico di  $t$  sarebbe **1,796** qualora si assumesse il **5%** di probabilità di errori da parte degli esperti di respingere le ipotesi che  $b$  sia differente da zero e sarebbe **2,718** per la probabilità dell' **1%**. A questo punto, tenendo conto che  $x_i$  è la deviazione dalla media, si potrebbe calcolare

| Gradi di Libertà<br>$v$ | $\alpha$ |       |       |        |        |        |         |
|-------------------------|----------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
|                         | .250     | .100  | .050  | .025   | .010   | .005   | .001    |
| 1                       | 1.000    | 3.078 | 6.314 | 12.706 | 31.821 | 63.567 | 318.309 |
| 2                       | .816     | 1.886 | 2.920 | 4.303  | 6.965  | 9.925  | 22.327  |
| 3                       | .765     | 1.638 | 2.353 | 3.182  | 4.541  | 5.841  | 10.215  |
| 4                       | .741     | 1.533 | 2.132 | 2.776  | 3.747  | 4.604  | 7.173   |
| 5                       | .727     | 1.476 | 2.015 | 2.571  | 3.365  | 4.032  | 5.893   |
| 6                       | .718     | 1.440 | 1.943 | 2.447  | 3.143  | 3.707  | 5.208   |
| 7                       | .711     | 1.415 | 1.895 | 2.365  | 2.998  | 3.499  | 4.785   |
| 8                       | .706     | 1.397 | 1.860 | 2.306  | 2.896  | 3.355  | 4.501   |
| 9                       | .703     | 1.383 | 1.833 | 2.262  | 2.821  | 3.250  | 4.297   |
| 10                      | .700     | 1.372 | 1.812 | 2.228  | 2.764  | 3.169  | 4.144   |
| 11                      | .697     | 1.363 | 1.796 | 2.201  | 2.718  | 3.106  | 4.025   |
| 12                      | .695     | 1.356 | 1.782 | 2.179  | 2.681  | 3.055  | 3.930   |
| 13                      | .694     | 1.350 | 1.771 | 2.160  | 2.650  | 3.012  | 3.852   |
| 14                      | .692     | 1.345 | 1.761 | 2.145  | 2.624  | 2.977  | 3.787   |
| 15                      | .691     | 1.341 | 1.753 | 2.131  | 2.602  | 2.947  | 3.733   |
| 16                      | .690     | 1.337 | 1.746 | 2.120  | 2.583  | 2.921  | 3.686   |
| 17                      | .689     | 1.333 | 1.740 | 2.110  | 2.567  | 2.898  | 3.646   |
| 18                      | .688     | 1.330 | 1.734 | 2.101  | 2.552  | 2.878  | 3.610   |
| 19                      | .688     | 1.328 | 1.729 | 2.093  | 2.539  | 2.861  | 3.579   |
| 20                      | .687     | 1.325 | 1.725 | 2.086  | 2.528  | 2.845  | 3.552   |
| 21                      | .686     | 1.323 | 1.721 | 2.080  | 2.518  | 2.831  | 3.527   |
| 22                      | .686     | 1.321 | 1.717 | 2.074  | 2.508  | 2.819  | 3.505   |
| 23                      | .685     | 1.319 | 1.714 | 2.069  | 2.500  | 2.807  | 3.485   |
| 24                      | .685     | 1.318 | 1.711 | 2.064  | 2.492  | 2.797  | 3.467   |
| 25                      | .684     | 1.316 | 1.708 | 2.060  | 2.485  | 2.787  | 3.450   |
| 26                      | .684     | 1.315 | 1.706 | 2.056  | 2.479  | 2.779  | 3.435   |
| 27                      | .684     | 1.314 | 1.703 | 2.052  | 2.473  | 2.771  | 3.421   |
| 28                      | .683     | 1.313 | 1.701 | 2.048  | 2.467  | 2.763  | 3.408   |
| 29                      | .683     | 1.311 | 1.699 | 2.045  | 2.462  | 2.756  | 3.396   |
| 30                      | .683     | 1.310 | 1.697 | 2.042  | 2.457  | 2.750  | 3.385   |
| 35                      | .682     | 1.306 | 1.690 | 2.030  | 2.438  | 2.724  | 3.340   |
| 40                      | .681     | 1.303 | 1.684 | 2.021  | 2.423  | 2.704  | 3.307   |
| 50                      | .679     | 1.299 | 1.676 | 2.009  | 2.403  | 2.678  | 3.261   |
| 60                      | .679     | 1.296 | 1.671 | 2.000  | 2.390  | 2.660  | 3.232   |
| 70                      | .678     | 1.294 | 1.667 | 1.994  | 2.381  | 2.648  | 3.211   |
| 80                      | .678     | 1.292 | 1.664 | 1.990  | 2.374  | 2.639  | 3.195   |
| 90                      | .677     | 1.291 | 1.662 | 1.987  | 2.368  | 2.632  | 3.183   |
| 100                     | .677     | 1.290 | 1.660 | 1.984  | 2.364  | 2.626  | 3.174   |
| 120                     | .677     | 1.289 | 1.658 | 1.980  | 2.358  | 2.617  | 3.160   |
| $\infty$                | .674     | 1.282 | 1.645 | 1.960  | 2.326  | 2.576  | 3.090   |

Tab. 5.d

$$t = \frac{b}{\sqrt{\frac{s_e^2}{\sum_{i=1}^n (x_i)^2}}} = \frac{82,29}{\sqrt{\frac{4.852.825}{179.232}}} = 15,89$$

e poiché il suo valore sarebbe molto più grande del suddetto valore critico, significa che saranno respinte le eventuali ipotesi che  $b$  possa essere uguale a zero con una probabilità di errore molto più bassa dell' **1%**.

## 5.4 I MODELLI COMPLESSI DI ESTRAPOLAZIONE DEL TREND TECNOLOGICO

Per effettuare delle analisi più adeguate del trend dello sviluppo tecnologico possono essere utilizzati modelli estrapolativi più complessi, quali il Fisher-Pry, il Gompertz e le equazioni differenziali di Lotka-Volterra.

Questi modelli possono essere applicati opportunamente dopo le fasi di monitoraggio, di selezione delle variabili – che, quasi certamente, presentano una relazione non lineare fra loro - e della relativa accurata raccolta empirica della serie temporale di dati, in un contesto di riferimento sostanzialmente invariabile nel periodo di studio.

In base alle conoscenze relative agli aspetti che guidano il cambiamento, per ogni differente tipologia di innovazione tecnologica, bisogna identificare il più opportuno modello di sviluppo non lineare fra

- le curve di crescita esponenziale, che sono applicate ad un certo periodo ben definito di interesse, perché su una serie di periodi varia il tasso di crescita (facendo attenzione ai possibili ostacoli fisici o sociali che potrebbero rallentarne o arrestarne anticipatamente l'andamento);
- le curve di sviluppo sigmoide di Fisher-Pry e di Gompertz (*Fig. 5.9*), che possono essere

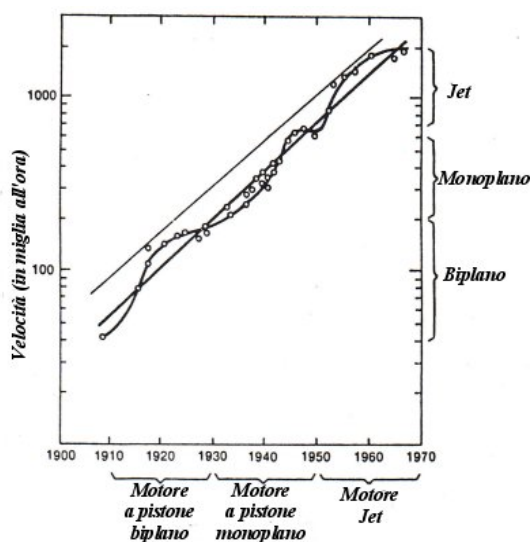


Fig. 5.9

affiancate una di seguito all'altra per descrivere una serie di sviluppi tecnologici che - attraverso i "picchi" e le "valli" delle varie tecnologie - disegnano l'involuppo delle curve ovvero una "traiettoria", molto probabilmente relativa ad una crescita di tipo esponenziale. Sostanzialmente, quando una tecnologia raggiungerà il proprio "picco", il settore della R & S offrirà un successore che soddisferà le

aspettative del mercato, sostituendo quella precedente;



- le curve di sviluppo sigmoideale della funzione di progresso tecnologico (Fig. 5.10), misurato rispetto al costante incremento del lavoro del settore di R & S, evidenziando il lento avvio per gli impedimenti che normalmente sopraggiungono, un rapido sviluppo tecnologico nel periodo della più alta produttività dello stesso settore ed, infine, un rallentamento per la difficoltà di realizzare ulteriori miglioramenti nella tecnologia. Questo rallentamento è contemporaneo alla diminuzione del ritorno marginale dell'incremento di lavoro della R & S. Attraverso questo modello è possibile comprendere a quale livello è possibile sospendere gli specifici investimenti in R & S, poiché sostanzialmente improduttivi;

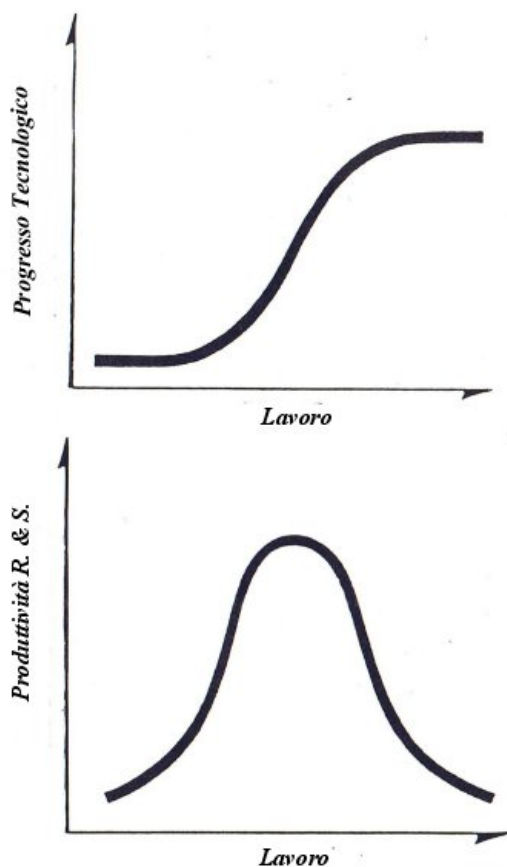


Fig. 5.10

- le curve di apprendimento (Fig. 5.11), che consentono di prevedere l'incremento del livello di produzione in collegamento allo sviluppo delle tecnologie ed il conseguente proporzionale abbattimento dei costi di produzione. Dunque, questo modello collega il miglioramento della produttività alla maturità del processo di produzione di una

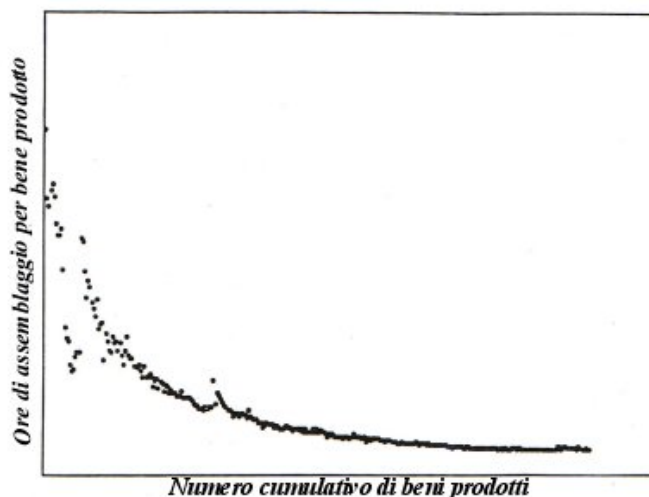


Fig. 5.11

tecnologia, attraverso la formula  $Y = aX^{-b}$  o l'equivalente  $\log Y = \log a - b \log X$ , dove  $Y$  rappresenta il numero di ore di lavoro diretto richieste per produrre un certo

quantitativo di unità di  $X$ ,  $a$  è il numero di ore di lavoro diretto richieste per produrre la prima unità e  $b$  è il parametro che misura il tasso di riduzione delle ore di lavoro rispetto all'incremento delle quantità prodotte a seguito di miglioramenti nelle tecnologie o nelle capacità del personale.

I modelli identificati devono essere successivamente adattati ai dati storici collezionati ed utilizzati per fornire le previsioni rispetto al futuro, attraverso il calcolo delle costanti nelle equazioni di riferimento oppure attraverso un processo di estrapolazione grafica (come il tracciamento di una linea in modo approssimativo). Solo nel caso di scarsa adattabilità del modello di sviluppo identificato per la tecnologia, è necessario individuarne un altro: ciò può accadere quando si è in presenza di “importanti” dati isolati a causa dell'esistenza del cosiddetto “rumore di fondo”, ovvero a valori realmente divergenti, ad errori nella misurazione o nella trascrizione, all'esistenza di circostanze particolari.

Successivamente, anche attraverso l'utilizzo della tecnica della matrice degli effetti incrociati o della raccolta delle opinioni degli esperti, sarà necessario effettuare un'analisi quantitativa o qualitativa di sensibilità dell'estrapolazione, considerando la probabilità e la possibile influenza di esternalità che potrebbero modificare l'andamento e calcolando gli intervalli di confidenza per stimare il range di alterazione dei valori futuri attesi.

Infine, sarà necessario interpretare i risultati delle previsioni, evidenziando il perché della scelta del modello di sviluppo, la rilevanza e la qualità dei dati storici collezionati, quali fattori presumibilmente presenteranno un'interrelazione con il trend e con quale probabilità, nonché quale è il grado di conoscenza dello stesso trend previsto.

## I MODELLI DI FISHER-PRY E DI GOMPERTZ

Per la predisposizione di previsioni sul trend di sviluppo tecnologico, è possibile scegliere fra i modelli di Fisher-Pry e di Gompertz relativi ai tempi di introduzione, sviluppo e maturità delle tecnologie ed al loro tasso di sostituibilità, avendo assunto l'esistenza di un contesto di riferimento sostanzialmente invariabile nel periodo di studio e che la raccolta empirica della serie temporale di dati sia stata eseguita in modo accurato. Normalmente, lo sviluppo di una nuova tecnologia inizia quando emergono le limitazioni di quella esistente, ma prima che quest'ultima le dimostri. La curva di sviluppo disegna un modello di sviluppo cumulativo di una famiglia di tecnologie.

Il modello di Fisher-Pry parte dall'assunzione che lo sviluppo tecnologico presenta caratteristiche simili a quelle dello sviluppo di un sistema biologico (Fisher e Pry, 1971; U. Kumar e V. Kumar, 1992). Queste caratteristiche sono ben rappresentabili con una curva di sviluppo sigmoideale crescente, partendo dall'assunzione che il numero di unità vendute potenziale e quelle già raggiunte stimolano un incremento degli acquisti ed una più rapida penetrazione nel mercato.

Nel modello di Gompertz si assume che il tasso di mortalità di una popolazione aumenta esponenzialmente con l'età: è, dunque, più adatto nei casi in cui la sostituzione delle apparecchiature è dovuto al loro deterioramento piuttosto che all'introduzione di innovazioni tecnologiche (presumibilmente poiché sono poco chiari i benefici di queste ultime, che sono considerate equivalenti a quelle esistenti). In sostanza, oltre il **50%** del livello di penetrazione, l'andamento dipende primariamente dalla frazione di mercato residuo senza alcun legame con il numero di unità vendute già avvenuto.

Quando i dati storici collezionati permettono di supporre che siano sufficientemente note le caratteristiche del processo e se ne comprendono le dinamiche comportamentali e di mercato, gli esperti possono scegliere fra il modello di Fisher-Pry ed il modello Gompertz, che producono due differenti previsioni di sviluppo tecnologico. In caso contrario, non esiste un criterio idoneo per la scelta. Bisogna sempre ricordare che le previsioni sbagliate portano a successivi errori nelle decisioni dei manager, poiché se sono troppo ottimistiche generano investimenti oltremodo rischiosi oppure qualora siano troppo pessimistiche portano a non investire.

Il modello di Fisher-Pry è applicato per prevedere il tasso di sostituzione di una tecnologia rispetto ad un'altra - ovvero il suo livello di diffusione - che viene calcolato come la frazione di potenziale penetrazione del mercato di una tecnologia  $f = \frac{Y}{L}$ , dove  $L$  rappresenta una stima dell'upper bound della crescita del numero di unità vendute  $Y$  (variabile indipendente).

Nel periodo iniziale la curva sigmoideale mostra una lenta fase di introduzione di una tecnologia: il livello delle vendite collegate alla nuova tecnologia è basso rispetto al potenziale per le incertezze dei consumatori rispetto all'immissione di nuovi prodotti sul mercato, per la mancanza di fiducia nelle imprese, per le naturali difficoltà di progettazione, produzione ed adattamento nel sistema commerciale, per la carenza nelle necessarie infrastrutture di supporto o per la presenza di barriere burocratiche. Dopo il superamento dei problemi iniziali, si assume che le prime cessioni sbloccano l'andamento delle vendite. Gli acquirenti sono stimolati da campagne pubblicitarie e dalla crescita del sistema di distribuzione, dei servizi e della rete di assistenza: ciò favorisce un rapido incremento degli acquisti di tutti i beni e servizi che usano la nuova tecnologia. Dunque, segue una rapida fase di investimenti e di sviluppo (lineare o esponenziale) collegati agli evidenti benefici in termini di costi, produttività, competitività connessi alla nuova tecnologia, nonché si verifica la sostituzione della tecnologia esistente. Ad un certo punto, la penetrazione del mercato (ormai saturo) diverrà più ardua, anche perché sarà difficile vendere i prodotti a chi non beneficerebbe molto dall'acquisto della tecnologia o non avrebbe la sufficiente capacità finanziaria per comprarla: si manifesta un rallentamento graduale dello sviluppo della tecnologia collegato alla saturazione del potenziale di crescita e agli aumenti dei costi di investimento necessari per ottenere miglioramenti minimi.

Pertanto, si può supporre che il tasso di sostituzione  $f$  risulterà proporzionale alla frazione di mercato raggiunta (ovvero a se stesso) e, contemporaneamente, alla frazione di mercato residuo  $1 - f$ , secondo la formula

$$\frac{df}{dt} = b \left[ \frac{f}{(1-f)} \right] \quad (5.6)$$

che integrata tra il tempo  $t_0$  al quale la sostituzione sarà completa al 50% e  $t$  darà

$$\int_{t_0}^t b \left[ \frac{f}{(1-f)} \right] dt$$

e, quindi,

$$f = \frac{1}{1 + e^{-b(t-t_0)}} = \frac{1}{1 + ce^{-bt}} \quad (5.7)$$

con  $c = e^{bt_0}$ , formula dalla quale si genera la famosa curva di sviluppo sigmoideale.

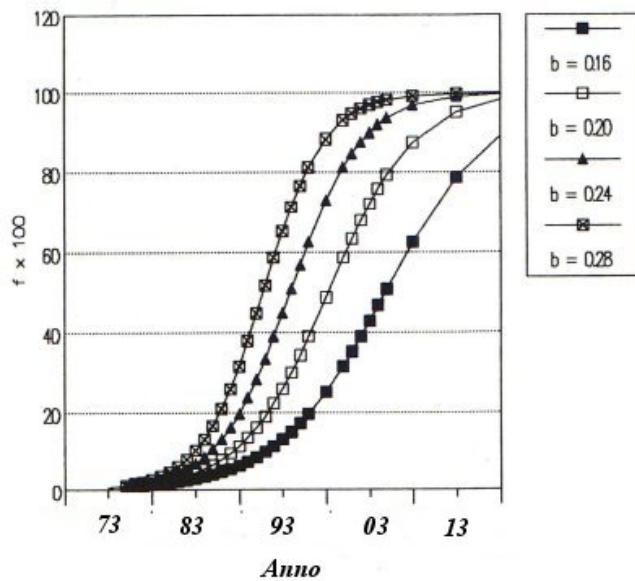


Fig. 5.12

I punti di flesso della curva sigmoideale sono  $f = 0$  (minimo valore della variabile),  $f = 0,5$  (punto di simmetria),  $f = 1$  (massimo valore) e si riscontrano rispettivamente agli istanti  $t = -\infty$ ,  $t = \frac{\ln(c)}{b}$ ,  $t = +\infty$ .

Come dimostrano le due figure Fig. 5.12 e Fig. 5.13, le variazioni nei valori di  $b$  (coefficiente di interazione tra gli acquirenti ed i potenziali acquirenti) modificano la forma della curva e le modifiche del valore di  $c$  cambiano la posizione della curva, consentendo a coloro che effettuano le previsioni di adattare con flessibilità il modello di Fisher-Pry alla serie di dati collezionati.

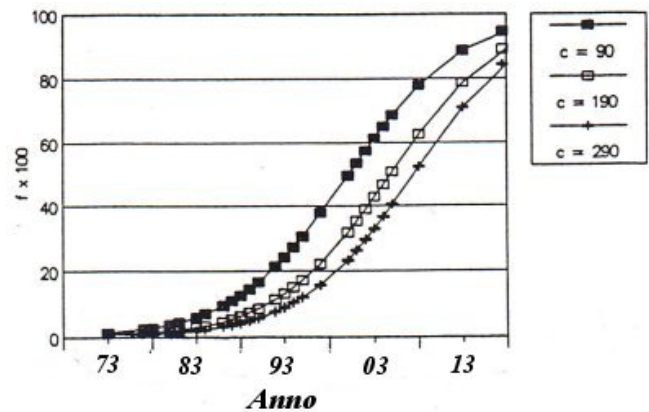


Fig. 5.13

Per rendere più agevole la previsione, si potrebbe trasformare la formula (5.7) in

$$Z = \ln\left[\frac{1-f}{f}\right] = \ln(c) - bt \quad (5.8)$$

con  $Z$  funzione lineare del tempo, i cui valori sono calcolati attraverso la stessa serie di dati disponibili e possono essere collocati in un diagramma rispetto al tempo per determinare, attraverso il tracciamento di una linea retta adattata agli stessi, i valori delle costanti  $b$  e  $c$ .

Questi due valori possono essere ottenuti alternativamente usando la tecnica della regressione lineare con il criterio dei minimi quadrati oppure una carta semilogaritmica (Fig. 5.14), dove i valori di  $(1-f)/f$  possono essere posti in correlazione rispetto al tempo coprendo un range che va da **0,001** a **100**, che consente di ottenere valori di  $f$  dall' **1%** al **99%**.

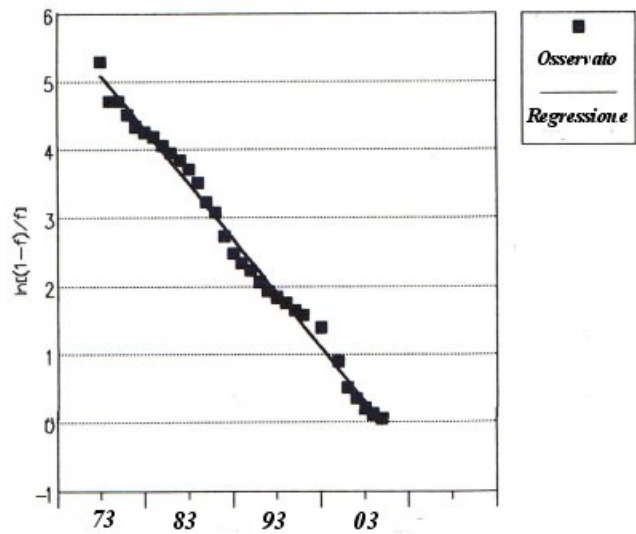


Fig. 5.14

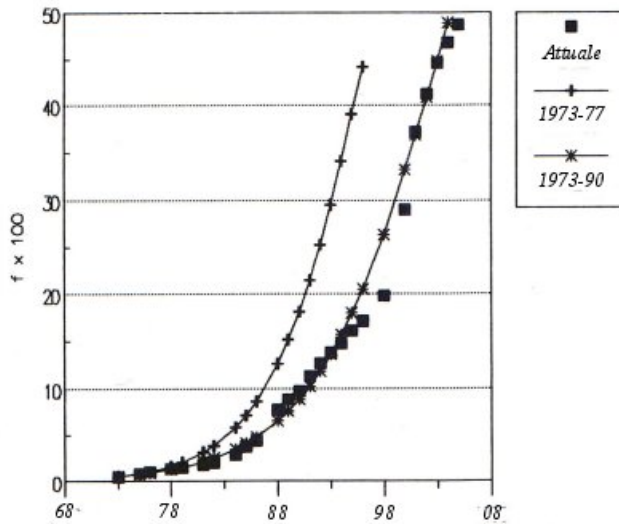


Fig. 5.15 LE PREVISIONI SUL NUMERO DI UNITÀ VENDUTE VARIANO IN DIPENDENZA DEL NUMERO DI ANNI CUI SI RIFERISCONO I DATI RACCOLTI

Naturalmente, per ottenere delle migliori e più scrupolose previsioni, il modello di Fisher-Pry - che risente dell'estensione temporale e dell'accuratezza della serie temporale di dati raccolti empiricamente - dovrebbe essere utilizzato solo dopo che il tasso di sostituzione  $f$  abbia raggiunto un livello del **10%** (ovvero  $f = 0,1$ ). Nel seguente esempio (Fig. 5.15), ciò avviene nel 1990 con  $n = 18$ . Dunque, man mano, con il passare del tempo, si acquisiscono dati aggiornati sull'andamento di un processo e, di volta in volta, possono essere nuovamente rivisitate le previsioni che diventeranno sempre più precise.

| <i>n</i> | Anno | Previsione attuale |       | Intervallo di Confidenza del 90% |       |
|----------|------|--------------------|-------|----------------------------------|-------|
|          |      | %                  | %     | Lower                            | Upper |
| 1        | 1973 | 0,5                | 0,61  | 0,47                             | 0,79  |
| 2        | 1974 | 0,9                | 0,72  | 0,56                             | 0,93  |
| 3        | 1975 | 0,9                | 0,84  | 0,65                             | 1,09  |
| 4        | 1976 | 1,1                | 0,99  | 0,76                             | 1,27  |
| 5        | 1977 | 1,3                | 1,15  | 0,90                             | 1,48  |
| 6        | 1978 | 1,4                | 1,35  | 1,05                             | 1,74  |
| 7        | 1979 | 1,5                | 1,58  | 1,23                             | 2,03  |
| 8        | 1980 | 1,7                | 1,85  | 1,44                             | 2,37  |
| 9        | 1981 | 1,9                | 2,16  | 1,69                             | 2,76  |
| 10       | 1982 | 2,1                | 2,53  | 1,98                             | 3,23  |
| 11       | 1983 | 2,4                | 2,95  | 2,31                             | 3,76  |
| 12       | 1984 | 2,9                | 3,44  | 2,70                             | 4,38  |
| 13       | 1985 | 3,8                | 4,02  | 3,16                             | 5,10  |
| 14       | 1986 | 4,4                | 4,68  | 3,68                             | 5,92  |
| 15       | 1987 | 6,1                | 5,44  | 4,29                             | 6,88  |
| 16       | 1988 | 7,7                | 6,32  | 5,00                             | 7,97  |
| 17       | 1989 | 8,8                | 7,34  | 5,81                             | 9,22  |
| 18       | 1990 | 9,7                | 8,50  | 6,75                             | 10,65 |
| 19       | 1991 | 11,3               | 9,82  | 7,82                             | 12,27 |
| 20       | 1992 | 12,7               | 11,33 | 9,05                             | 14,09 |
| 21       | 1993 | 13,8               | 13,03 | 10,45                            | 16,14 |
| 22       | 1994 | 14,8               | 14,95 | 12,03                            | 18,42 |
| 23       | 1995 | 16,1               | 17,09 | 13,82                            | 20,95 |
| 24       | 1996 | 17,1               | 19,47 | 15,82                            | 23,72 |
| 25       | 1997 | NA                 | 22,09 | 18,04                            | 26,76 |
| 26       | 1998 | 19,8               | 24,96 | 20,49                            | 30,03 |
| 27       | 1999 | NA                 | 28,06 | 23,19                            | 33,51 |
| 28       | 2000 | 29,0               | 31,39 | 26,13                            | 37,18 |
| 29       | 2001 | 37,2               | 34,93 | 29,30                            | 41,00 |
| 30       | 2002 | 41,2               | 38,63 | 32,69                            | 44,94 |
| 31       | 2003 | 44,6               | 42,47 | 36,26                            | 48,94 |
| 32       | 2004 | 46,8               | 46,41 | 40,05                            | 52,89 |
| 33       | 2005 | 48,7               | 50,39 | 43,90                            | 56,87 |
| 36       | 2008 |                    | 62,11 | 55,69                            | 68,12 |
| 41       | 2013 |                    | 78,44 | 73,45                            | 82,72 |
| 46       | 2018 |                    | 88,98 | 85,87                            | 91,48 |

Tab. 5.e - LA PREVISIONE DEL MODELLO DI FISHER-PRY RISPETTO ALLA CAPACITÀ DI PENETRAZIONE NEL MERCATO, COMPRENDE UN INTERVALLO DI CONFIDENZA DEL 90% (Fig. 5.16)

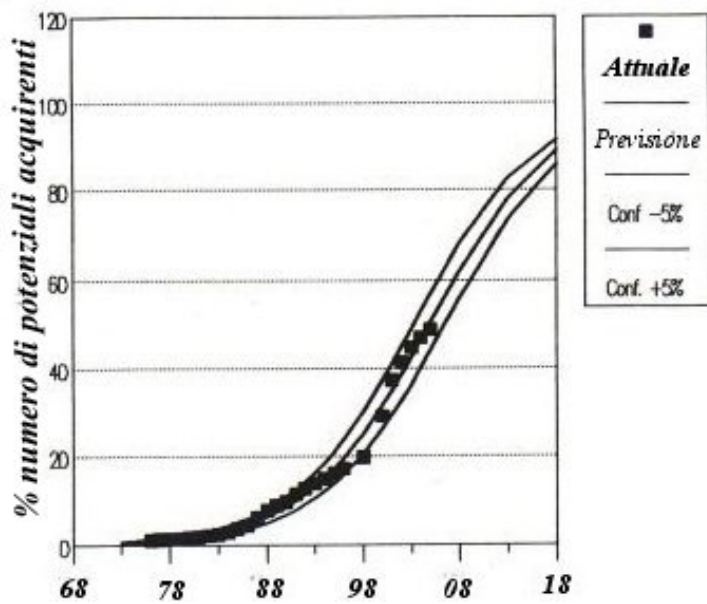


Fig. 5.16 IL MODELLO DI FISHER-PRY SUL NUMERO DI UNITÀ VENDUTE, CON UN INTERVALLO DI CONFIDENZA DEL 90% ED I DATI RACCOLTI: RAGGIUNTO IL 50% DI PENETRAZIONE DEL MERCATO, VI SARÀ UN'ACCELERAZIONE CHE CONSENTIRÀ DI RAGGIUNGERE IL 90% NEI 10 ANNI SUCCESSIVI.

Infine, è possibile comparare le misure raccolte dei valori di  $f$  con il modello di Fisher-Pry, predisposto utilizzando la tecnica della regressione lineare con i minimi quadrati per calcolare i valori delle costanti  $b$  e  $c$  a partire dai 31 dati presenti nella precedente tabella (Tab. 5.e). Per questa previsione, l'intervallo di confidenza dei valori - calcolato rispetto alla formula (5.8), poi trasformato nel rapporto tra il tempo e  $f$ , nonché riportato sempre nella precedente tabella - risulta del **90%**. Esso non è perfettamente simmetrico rispetto ai dati raccolti, riflettendo la non linearità dell'equazione di Fisher-Pry, e viene compresso quando la curva tende ai limiti.

La curva di sviluppo sigmoidale di Gompertz si ottiene dalla formula

$$f = \exp[-b \exp(-kt)] \quad (5.9)$$

dove,  $f = \frac{Y}{L}$  è la variabile dipendente ed  $L$  rappresenta una stima dell'upper bound della crescita del numero di unità vendute  $Y$  (variabile indipendente).



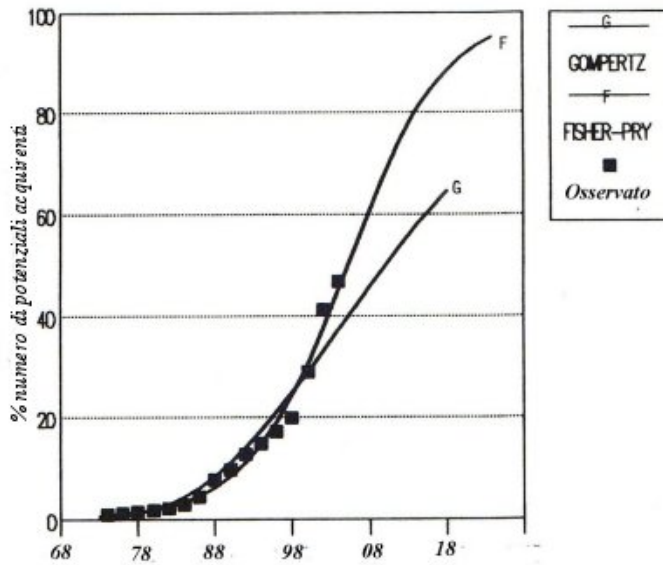


Fig. 5.17

Come è visualizzabile graficamente (Fig. 5.17), a partire da una stessa serie storica di dati collezionati, il modello di Fisher-Pry differisce da questa curva che non è simmetrica rispetto al proprio punto di flesso intermedio della curva sigmoideale, posto in  $f = 0,368$  all'istante

$$t = \frac{\ln(b)}{k}$$

Le variazioni nei valori di  $k$  modificano la forma della curva e le modifiche del valore di  $b$  cambiano la posizione della curva, consentendo a coloro che effettuano

le previsioni di adattare con flessibilità il modello di Gompertz alla serie di dati collezionati.

Per rendere più agevole la previsione, si potrebbe trasformare la formula (5.9) in

$$Z = \ln[-\ln(f)] = \ln(b) - kt \quad (5.10)$$

con  $Z$  funzione lineare del tempo, i cui valori sono calcolati attraverso la stessa serie di dati disponibili e che possono essere collocati in un diagramma rispetto al tempo per determinare, attraverso il tracciamento di una linea retta adattata agli stessi, i valori delle costanti  $b$  e  $k$ . Questi due valori possono essere ottenuti anche utilizzando la tecnica della regressione lineare con il criterio dei minimi quadrati.

È da rilevare che in entrambi i modelli è necessario effettuare preventivamente la stima di  $L$ , un terzo parametro da prevedere che rappresenta l'upper bound del numero di unità vendute (dipendente da molti fattori tra i quali il numero crescente di potenziali acquirenti, le variazioni del metodo di produzione, i miglioramenti nei componenti interni, ecc...): una valutazione errata di questo dato comporta una evidente distorsione nel calcolo delle costanti  $b$ ,  $c$  e  $k$ .

## LE EQUAZIONI DI LOTKA-VOLTERRA: UN MODELLO GENERALE DI ESTRAPOLAZIONE DEL TREND TECNOLOGICO

Un altro importante modello estrapolativo per la predisposizione dei previsioni è rappresentato dal sistema di equazioni differenziali di Lotka-Volterra, nelle quali si tiene conto dei basilari processi socio-tecnologici che guidano il trend dello sviluppo delle tecnologie e la loro diffusione, sempre avendo assunto che la tecnica sia utilizzata in un contesto di riferimento sostanzialmente invariabile nel periodo di studio e che la raccolta empirica della serie temporale di dati sia eseguita in modo accurato.

Il modello di Lotka-Volterra viene adottato per l'esistenza di molte analogie nelle interrelazioni tra le tecnologie ed il contesto socio-tecnologico in cui si sviluppano rispetto allo studio di un "sistema biologico" e alle dinamiche interne delle "popolazioni", tenendo conto delle seguenti proprietà:

- deve essere limitato a poche e strettamente correlate tecnologie e mercati, tutti noti con lo stesso livello di generalità;
- deve essere gerarchico, potendo essere ridefinito progressivamente ad un più alto o basso livello di dettaglio;
- deve essere considerato come rispondente ad un modello matematico astratto esemplificativo di un ambiente socio-tecnologico assai complesso, immune dalle externalità, in cui si compete secondo le regole di Darwin;
- deve esistere una nicchia, ovvero una possibile porzione di mercato in cui la singola tecnologia può essere collocata.

In sostanza, per questo modello, la competizione tecnologica rappresenta il processo attraverso il quale due tecnologie interagiscono l'un con l'altra nell'ambito dello stesso sistema socio-tecnologico (composto di limitate risorse umane, economiche e tecno-scientifiche), gareggiando per una nicchia di mercato potenziale e spingendo costantemente l'altra verso l'estinzione o il disuso per obsolescenza.

Il modello Lotka-Volterra parte dall'assunzione che lo sviluppo tecnologico della singola tecnologia  $\frac{dX}{dt}$  dipende dall'attuale livello delle singole tecnologie esistenti  $X$  e dal mercato potenziale  $L(X) = (\alpha_1 - \beta_1 X - \gamma_1 Y)$ : per mezzo del suddetto sistema di equazioni differenziali è possibile conoscere un preciso valore dello sviluppo tecnologico per ogni istante temporale.

La formula è

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = X(\alpha_1 - \beta_1 X - \gamma_1 Y) \\ \frac{dY}{dt} = Y(\alpha_2 - \beta_2 Y - \gamma_2 X) \end{cases} \quad (5.11)$$

dove le variabili  $X$  e  $Y$  rappresentano il numero di unità vendute - oppure il profitto ottenuto - di due tecnologie che si sviluppano, interagiscono fra loro e competono all'interno di un grande mercato.  $\alpha$  riguarda la capacità di mercato - o di produzione - della singola tecnologia, espressa in unità del tipo 1/tempo;  $\beta$  è il coefficiente di inibizione che stima la perdita del mercato potenziale causato dagli sviluppi della tecnologia, espressa in unità del tipo 1/(€Xtempo) rispetto alle unità vendute e del tipo 1/tempo rispetto alle unità prodotte;  $\gamma$  è il coefficiente di competitività che riguarda la porzione della capacità di mercato delle tecnologie concorrenti, espressa nelle stesse unità di  $\beta$ . Questi coefficienti variano in dipendenza delle caratteristiche delle singole tecnologie e dalla lunghezza del periodo di studio considerato (ovvero dall'unità di tempo adottata).  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  potrebbero essere uguali (ovvero le due tecnologie presenterebbero la stessa capacità di mercato), mentre ciò non dovrebbe mai accadere per i coefficienti  $\beta$  e  $\gamma$ .

Le variabili  $X$  e  $Y$  sono state riportate in un sistema di equazioni al quale si attribuisce un'adeguata interpretazione delle dinamiche essenziali dei fenomeni (in sostanza, pur non essendo comprese nel modello tutte le possibili esternalità, quest'ultime non riuscirebbero a modificare il trend).

Variando i suddetti coefficienti, il modello Lotka-Volterra può descrivere molte situazioni di sviluppo tecnologico e può ben approssimare anche gli altri modelli previsionali precedentemente analizzati, come riportato nella seguente tabella:

| Tipologia Sistemi       | Limiti allo sviluppo  | Caratteristiche Modello   | Modello Approssimato                          | Soluzioni in forma chiusa       | Descrizione dello sviluppo     |
|-------------------------|---|---|---|---------------------------------|--------------------------------|
| Inibitivi               | La dimensione del mercato   | $\beta_1 \times \beta_2 > \gamma_1 \times \gamma_2$ ovvero non ci sono tecnologie competitive o sono insignificanti (perché $Y$ è lontana dalla propria saturazione del mercato)<br>$\gamma \rightarrow 0$ ovvero è molto basso il coefficiente di competitività che riguarda la porzione della capacità di mercato delle tecnologie competitrici | Fisher-Pry                                    | $X = \frac{A}{1 + C \exp(-Bt)}$ | $\frac{dX}{dt} = X(-A - BX)$   |
| Competitivi             | La natura e l'ampiezza della competizione con le altre tecnologie | $\alpha_1 \sim \alpha_2$ ovvero quando le tecnologie hanno un simile tasso di crescita  | Gompertz                                      | $X = A \exp(-B \exp(-Kt))$      | $\frac{dX}{dt} = BX \exp(-At)$ |
|                         |   | $\beta_1 \times \beta_2 < \gamma_1 \times \gamma_2$ si verifica quando esiste una forte competizione con altre tecnologie che tendono a portare via il mercato futuro<br>$\beta \rightarrow 0$  |   |                                 |                                |
| Inibitivi e competitivi |   | $\gamma, B \rightarrow \infty$ si verifica quando si ha basso tasso di sviluppo tecnologico o un breve periodo di studio  | Lineare                                       | $X = At + B$                    | $\frac{dX}{dt} = C$            |
|                         |   | $\alpha > X$ si verifica quando si ha un basso livello di saturazione del mercato   | Esponenziale                                  | $X = \exp(At)$                  | $\frac{dX}{dt} = AX$           |
|                         |   | $X \rightarrow \alpha$ si verifica quando si ha un alto livello di saturazione del mercato  | Decadimento Esponenziale                      | $X = A - A \exp(-Bt)$           | $\frac{dX}{dt} = (A - CX)$     |
| Competitivi             |   | si verifica nei casi di rilevanti competizioni tra più tecnologie in via di sviluppo ed in equilibrio concorrenziale oppure tra due tecnologie in via di sviluppo che hanno un simile tasso di crescita   | Analisi di sostituzione multiple di Marchetti | Varie                           | Varie                          |

Inoltre, attraverso iterazioni successive delle equazioni differenziali di Lotka-Volterra, rispetto a differenti scenari e casi alterativi, è possibile esplorare lo sviluppo di nuove ed emergenti tecnologie e raffinare le previsioni che ne simulano la crescita futura nel contesto di un sistema socio-tecnologico dinamico.

Sono molto interessanti i risultati delle equazioni differenziali di Lotka-Volterra applicati alle analisi di sostituzione multipla di una tecnologia (elaborato da Marchetti, 1988, Fig. 5.18 e Fig. 5.19), che possiedono una buona capacità di generare le previsioni facendo affidamento sui dati raccolti rispetto allo sviluppo o al decadimento descritto dalle curve logistiche.

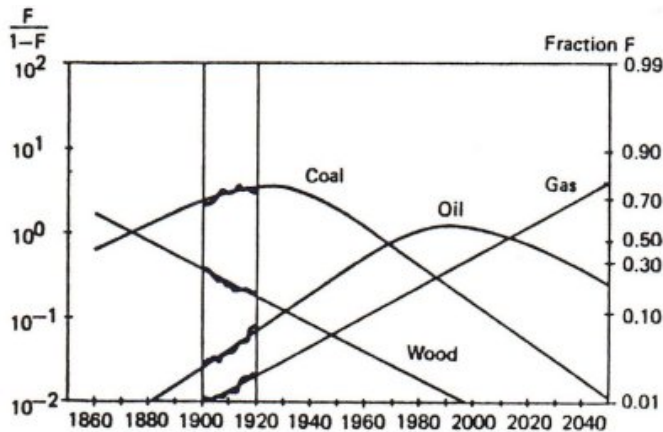
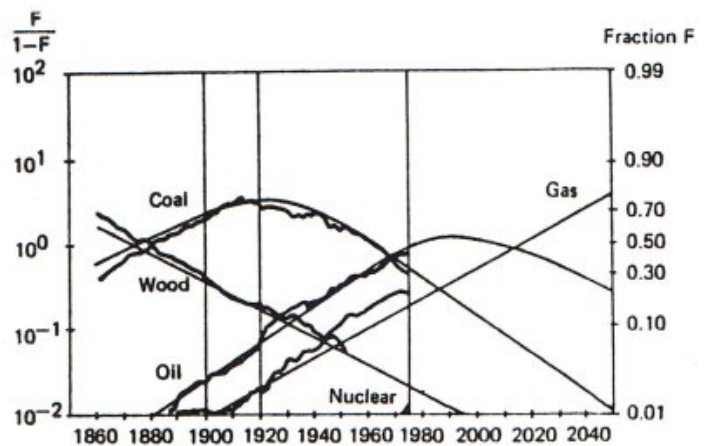


Fig. 5.18 I RISULTATI DELLE PROIEZIONI EFFETTUATE CON I DATI RACCOLTI NELL'ARCO DI 20 ANNI SU 4 TECNOLOGIE ENERGETICHE IN COMPETIZIONE FRA LORO SONO BUONI RISPETTO AGLI SVILUPPI REALI NEI SUCCESSIVI 60 ANNI (DOVE SI OSSERVANO ANCHE I PRIMI PASSI DELLA DIFFUSIONE DEL NUCLEARE).

Fig. 5.19 PER ESEMPIO, È POSSIBILE VERIFICARE QUANTI ANNI DISTANO TRA L'ISTANTE IN CUI LA SINGOLA TECNOLOGIA HA RAGGIUNTO IL 50% DI PENETRAZIONE DEL MERCATO ( $f=0,5$ ). SULLA SINISTRA I DATI SONO INDICATI RISPETTO AD UNA SCALA LOGARITMICA MENTRE SULLA DESTRA RAPPRESENTANO IL LIVELLO % DI PENETRAZIONE DEL MERCATO



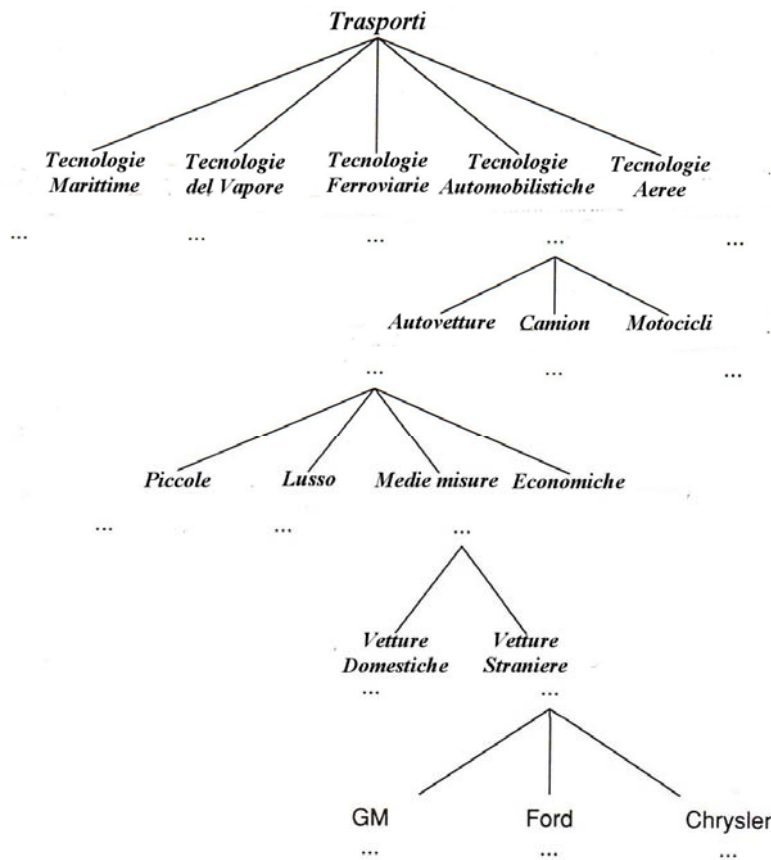


Fig. 5.20

Nell'ambito dello stesso mercato di riferimento, le analisi di sostituzione multipla di Marchetti consentono di studiare la dipendenza - relativamente allo sviluppo - delle famiglie di tecnologie che appartengono a differenti livelli gerarchici (Fig. 5.20): ad ogni singolo livello, lo sviluppo viene adeguatamente descritto dalla tipologia di curve logistiche selezionate (come quella di Fisher-Pry). Quando gli esperti effettuano le previsioni sullo sviluppo di una certa tecnologia, essi hanno la responsabilità di scegliere il mercato rispetto al quale intendono effettuare lo studio, nonché il livello di

dettaglio al quale vogliono far giungere l'analisi.

Infine, lo sviluppo di certe tecnologie, pur avendo un avvio riconducibile ad una curva logistica (esponenziale o sigmoideale), segue successivamente un andamento periodico oscillatorio (come quello riscontrabile in molti fenomeni biologici): questo andamento risulta simulabile sempre attraverso le equazioni differenziali di Lotka-Volterra.

Se in questo caso fossero utilizzate le tradizionali tecniche di estrapolazione del trend, gli analisti otterrebbero delle previsioni completamente sbagliate e pericolose rispetto alle successive decisioni dei manager. In questo contesto di riferimento, la tecnologia "predatrice" trae vantaggio dall'interazione nel mercato (il guadagno di quote di mercato è indicato tramite un coefficiente di competitività negativo), mentre la tecnologia "preda" subisce una perdita dalla stessa interazione.

## **5.5 LA SIMULAZIONE**

Oltre ai modelli di estrapolazione del trend tecnologico, la simulazione rappresenta un'insieme di tecniche usate per consolidare la previsione delle innovazioni tecnologiche, attraverso la generazione di un modello computerizzato e/o multimediale – verificato e convalidato – che emula e semplifica un sistema reale complesso e che è finalizzato a quantificare matematicamente le relazioni tra i vari fattori interessati, generando una fotografia istantanea del futuro e/o un insieme di possibili realistici percorsi che conducono dal presente al futuro, sulla base di dati quantitativi e qualitativi.

A partire da una serie di assunzioni (da selezionare accuratamente) è possibile esaminare i comportamenti delle variabili ed i possibili effetti dei cambiamenti impressi da certe cause allo stesso sistema, generando una prima modellizzazione della realtà che poi viene man mano raffinata tramite iterazioni successive. Si favorisce, così, la messa a punto di strategie e tattiche sulla base di ipotetici comportamenti stocastici dei fattori selezionati. Tra i vari differenti tipi di simulazioni adottabili sono stati esaminati l'analisi degli effetti incrociati e il modello KSIM.

### **LA MATRICE DEGLI EFFETTI INCROCIATI**

L'analisi degli effetti incrociati è una tecnica stocastica interdisciplinare (Stover e Gordon, 1978) creata appositamente per favorire l'analisi, la comprensione e la valutazione delle interrelazioni fra gli eventi (le variabili significative) ed i trend, con lo scopo di comprendere la probabilità che si verifichino certi effetti futuri in un contesto di incertezza, che può essere statico o dinamico. Le altre tecniche considerano invece come indipendenti gli eventi ed i trend, generando spesso evidenti errori nelle previsioni (ad esempio, relativamente all'evoluzione di due distinte tecnologie, lo sviluppo e la diffusione dell'una provoca un sicuro effetto sull'altra).

L'analisi degli effetti incrociati, sviluppata nella forma di “gioco”, in un contesto statico, proietta nel mondo futuro una serie di eventi critici discreti (validi indipendentemente dal passare del tempo) rispetto alle previsioni (quali innovazioni tecnologiche, modifiche alle legislazioni, fenomeni naturali, trattati internazionali, ecc...), che potrebbero verificarsi con una certa probabilità marginale  $P(i)$  stimata inizialmente e soggettivamente (anche con la tecnica Delphi) senza considerare le eventuali influenze esterne.

Con il progredire del “gioco”, le probabilità correlate ai singoli eventi variano in parte a causa delle scelte dei “giocatori”, in parte per l'influenza delle interrelate esternalità dovute a fenomeni naturali o azioni umane fuori controllo che sono identificate con  $E_1, E_2, \dots, E_m$ . Queste ultime inducono cambiamenti del contesto di riferimento nell'orizzonte temporale, quali, ad esempio, l'aumento di tasse specifiche, le modifiche legislative “negative”, lo sviluppo di una tecnologia sostitutiva, la saturazione del mercato, l'andamento generale dell'economia, ecc.... Non sono stati considerati gli

eventi che sono completamente sotto il controllo del decisore, mentre tra quelli identificati è necessario selezionare i più rilevanti (anche con la tecnica Delphi), per consentire alla matrice di dare risultati più attendibili in tempi rapidi.

Nelle celle della matrice degli effetti incrociati vengono indicate le stime delle probabilità condizionali  $P(i | j)$ , che mostrano l'interdipendenza del verificarsi dell'evento  $i$  rispetto al verificarsi dell'evento  $j$ . Prima di tutto, è necessario stimare il range statisticamente accettabile delle probabilità condizionali delle celle sopra la diagonale per mezzo delle probabilità marginali iniziali determinate preliminarmente per ogni singolo evento.

| Probabilità marginale iniziale | La probabilità che questo evento si manifesti: | Se questo evento si verifica: |                |                |                |
|--------------------------------|--|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|
|                                |  | $E_1$                         | $E_2$          | $E_3$          | $E_4$          |
| 0,70                           | $E_1$  | 1,00<br>P(1 1)                | 0,40<br>P(1 2) | 0,70<br>P(1 3) | 0,51<br>P(1 4) |
| 0,40                           | $E_2$  | 0,20<br>P(2 1)                | 1,00<br>P(2 2) | 0,38<br>P(2 3) | 0,31<br>P(2 4) |
| 0,60                           | $E_3$  | 0,90<br>P(3 1)                | 0,72<br>P(3 2) | 1,00<br>P(3 3) | 0,33<br>P(3 4) |
| 0,45                           | $E_4$  | 0,33<br>P(4 1)                | 0,35<br>P(4 2) | 0,05<br>P(4 3) | 1,00<br>P(4 4) |

*MATRICE DELLE OCCORRENZE: SULLA DIAGONALE SI HA CERTEZZA CHE L'EVENTO SI VERIFICHERÀ E VIENE INSERITO 1,00*

Se il verificarsi dell'evento  $j$  favorisce la probabilità che  $i$  si verifichi, si ottiene

$$P(i) \leq P(i | j) \leq [P(i) / P(j)] \quad (5.12)$$

mentre se inibisce la probabilità che  $i$  si verifichi, si ottiene

$$1 + \{[P(i) - 1] / P(j)\} \leq P(i | j) \leq P(i) \quad (5.13)$$

A questo punto è necessario stimare la probabilità condizionale relativa alla singola cella sopra la diagonale, che dovrà rispettare il range così determinato per essere considerata ammissibile, altrimenti si inserirà al suo posto il valore limite. Se, comunque, la stima è adeguatamente supportata, si potrà inserire nella matrice un valore (ad esempio,  $0,15$  al posto di  $0,25$ ) che è al di fuori del range statisticamente accettabile (che per  $P(1 | 2)$  è tra  $0,25$  e  $0,70$ ). Segue poi la stima della probabilità condizionale relativa alla singola cella sotto la diagonale, che potrà essere stimata soggettivamente oppure potrà essere calcolata attraverso la regola di Bayes nel caso in cui tutti i  $P(i | j)$  siano nel range

$$P(j | i) = [P(i | j) / P(i)]P(j) \quad (5.14)$$

Ad esempio, seconda la regola di Bayes  $P(4 | 3) = 0,25$  (con  $P(3 | 4) = 0,33$  compreso nel range  $0,11 - 0,60$ ), ma sembra essere più razionale il valore stimato soggettivamente  $0,05$ .



Allo stesso modo, è possibile costruire una matrice delle non-occorrenze per indicare le stime delle probabilità condizionali  $P(i|\bar{j})$ , che mostrano l'interdipendenza del verificarsi dell'evento  $i$  rispetto al non verificarsi dell'evento  $j$  (ovvero, ad esempio, se non si verifica l'incremento delle tasse specifiche, la probabilità di sostituzione della tecnologia diminuisce). Queste stime sono determinabili come

$$P(i|\bar{j}) = [P(i) - P(j)P(i|j)] / [1 - P(j)] \quad (5.15)$$

Anche in questo caso, se l'evidenza consente di stimare soggettivamente un valore (non negativo) considerato più razionale, esso potrà essere comunque inserito.

Si noti l'assunzione, per semplicità, dell'ipotesi forzata che attraverso la probabilità marginale che si verifichi o meno un evento selezionato sia possibile determinare l'effetto dello stesso sulla probabilità condizionale degli altri eventi.

| Probabilità marginale iniziale che l'evento non si manifesti | La probabilità che questo evento si manifesti: | Se questo evento non si verifica: |                        |                        |                        |
|--|--|-----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|  |  | $E_1$                             | $E_2$                  | $E_3$                  | $E_4$                  |
| 0,30   | $E_1$  | 0,00<br>$P(1 \bar{1})$            | 0,85<br>$P(1 \bar{2})$ | 0,60<br>$P(1 \bar{3})$ | 0,90<br>$P(1 \bar{4})$ |
| 0,60   | $E_2$  | 0,87<br>$P(2 \bar{1})$            | 0,00<br>$P(2 \bar{2})$ | 0,35<br>$P(2 \bar{3})$ | 0,40<br>$P(2 \bar{4})$ |
| 0,50   | $E_3$  | 0,48<br>$P(3 \bar{1})$            | 0,52<br>$P(3 \bar{2})$ | 0,00<br>$P(3 \bar{3})$ | 0,78<br>$P(3 \bar{4})$ |
| 0,55   | $E_4$  | 0,73<br>$P(4 \bar{1})$            | 0,56<br>$P(4 \bar{2})$ | 0,75<br>$P(4 \bar{3})$ | 0,00<br>$P(4 \bar{4})$ |

*MATRICE DELLE NON OCCORRENZE: SULLA DIAGONALE SI HA CERTEZZA CHE L'EVENTO NON SI VERIFICHERÀ E VIENE INSERITO 0,00*

Il passaggio successivo è la simulazione degli effetti delle relazioni determinate, verificando che le stime iniziali delle probabilità marginali e condizionali degli eventi siano mutuamente coerenti e siano state eseguite con la dovuta attenzione. Quindi, si avvia la simulazione per mezzo del metodo di gioco probabilistico "Monte Carlo", ovvero:

1. si seleziona casualmente un evento (ad esempio,  $E_2$ );
2. un computer genera un numero casuale tra 0 e 1, che viene comparato con la probabilità marginale dell'evento (se si ottenesse  $0,26 \leq 0,40$  si assumerebbe che l'evento  $E_2$  si verifica, mentre se si ottenesse un numero maggiore di  $0,40$  si assumerebbe che l'evento  $E_2$  non si verifica);
3. la probabilità marginale degli altri eventi è sostituita dalla propria probabilità condizionale relativa al verificarsi o meno dell'evento selezionato (se l'evento  $E_2$  si verifica  $P(i)$  è

sostituito da  $P(i | 2)$  oppure se non si verifica è sostituito da  $P(i | \bar{2})$ , ovvero nel primo caso si avrebbe  $P(1) = 0,40$ ,  $P(3) = 0,72$  e  $P(4) = 0,35$ );

4. un secondo evento viene selezionato casualmente tra i rimanenti, ripetendo gli step dall'1 al 3 usando come base i valori modificati con la partita precedente (viene selezionato  $E_4$ , con probabilità marginale  $P(4) = P(4 | 2) = 0,35$ );
5. si ripetono gli step da 1 a 4 fino a quando tutti gli eventi sono stati selezionati e sono state svolte le relative partite. Quindi, le probabilità marginali sono riportate al valore iniziale ed il gioco viene reiterato centinaia di volte;
6. per ogni iterazione del gioco vengono annotati gli eventi che si verificano: la probabilità marginale finale di ogni singolo evento  $P(i)'$  si ottiene come il numero totale delle occorrenze dello stesso evento diviso il numero di iterazioni (nell'esempio, svolgendo le partite per mezzo di un computer, si ottengono come risultato dopo 1.000 iterazioni  $P(1)' = 0,60$ ,  $P(2)' = 0,50$ ,  $P(3)' = 0,51$  e  $P(4)' = 0,51$  e dopo 10.000 iterazioni  $P(1)' = 0,61$ ,  $P(2)' = 0,50$ ,  $P(3)' = 0,51$  e  $P(4)' = 0,50$ ).

Dalla seconda partita in poi, in entrambi le matrici delle occorrenze e delle non occorrenze, la probabilità condizionale che un evento si verifichi è legata a due o più eventi, rappresentabile mediante condizioni di secondo ordine  $P(i | j \cap k)$  che entrambi gli eventi  $i | j$  e  $k$  si verifichino ( $P(1 | 2 \cap 4)$  nell'esempio), che poi diverranno di terzo ordine  $P(i | j \cap k \cap l)$ . Queste tipologie di probabilità sono assai difficili da calcolare, ma possono essere approssimate facendo la media delle probabilità condizionali quando queste presentano valori vicini (ad esempio,  $P(1 | 2 \cap 3) = [P(1 | 2) + P(1 | 3)] / 2$ ).

I manager che gestiscono i progetti di innovazione tecnologica possono usare la tecnica dell'analisi degli effetti incrociati per considerare le fondamentali interazioni fra gli eventi (soggette comunque ad incertezze stocastiche) e per pianificare strategie volte a favorire o ad inibire la probabilità che un evento fondamentale si verifichi.

## LA DIMENSIONE TEMPORALE NELLA TECNICA DEGLI EFFETTI INCROCIATI

Per superare la formulazione irrealistica di un modello statico caratterizzato da eventi “discreti”, è necessario introdurre la dimensione temporale con lo scopo di analizzare la variazione delle probabilità del verificarsi degli eventi con il tempo, il loro trend e la sequenza dei loro effetti reciproci, nonché per ottenere migliori risultati previsionali dalla matrice degli effetti incrociati (si pensi, ad esempio, che l’evento  $E_4$  potrebbe non verificarsi se prima non si è verificato l’evento  $E_1$ , che a sua volta potrebbe avvenire in un periodo di tempo molto lungo od essere conseguente ad un bisogno generato da una serie di variazioni incrementali dell’evento  $E_2$ ). Naturalmente ciò provoca un incremento del lavoro, della complessità dello studio, del volume dei dati da analizzare.

Nel modello dinamico così riformulato utilizzando le catene di Markov, si indica con

$P(i : j) = P(E_i^{t+1} : E_j^t)$  la probabilità che un evento si verifichi o meno in dipendenza del tempo seguendo una prestabilita sequenza (ordinamento specifico), per la quale la probabilità che l’evento  $i$  si verifichi al tempo  $t+1$  dipende dal verificarsi al tempo  $t$  dell’evento  $j$ . Stimando il tempo in cui si manifesterà un certo evento, è possibile approssimare la variazione temporale degli effetti sugli altri eventi. Viene così costruita la matrice delle probabilità delle transizioni  $P^{(t,1)}$  che il sistema effettuerà per passare da uno scenario  $N_t = i$  al tempo  $t$  allo scenario  $N_{t+1} = j$  nell’“istante” successivo  $t+1$ , in cui ogni elemento dipende solo dallo stato

| Transizione da questo stato al tempo $t$ | A questo stato al tempo $t+1$ |                 |                 |                 |
|--|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|  | (00)<br>$N = 1$               | (01)<br>$N = 2$ | (10)<br>$N = 3$ | (11)<br>$N = 4$ |
| (00)<br>$N = 1$                          | 0,550<br>P(1:1)               | 0,300<br>P(1:2) | 0,098<br>P(1:3) | 0,052<br>P(1:4) |
| (01)<br>$N = 2$                          | 0,000<br>P(2:1)               | 0,850<br>P(2:2) | 0,000<br>P(2:3) | 0,150<br>P(2:4) |
| (10)<br>$N = 3$                          | 0,000<br>P(3:1)               | 0,000<br>P(3:2) | 0,650<br>P(3:3) | 0,350<br>P(3:4) |
| (11)<br>$N = 4$                          | 0,000<br>P(4:1)               | 0,000<br>P(4:2) | 0,000<br>P(4:3) | 1,000<br>P(4:4) |

*MATRICE  $P^{(t,1)}$  DELLE PROBABILITÀ DELLE TRANSIZIONI DI MARKOV PER 2 EVENTI. SE IL SISTEMA RAGGIUNGE LO STATO “TRAPPOLA”  $P(4:4)$ , SI ARRESTA.*

corrente (senza memoria del passato): per  $n$  eventi esistono  $2^n$  possibili scenari che definiscono una matrice  $2^n \times 2^n$  (ovvero per  $n = 2$  si ha una matrice  $4 \times 4$  che individua un insieme di stati in cui si verifica o meno un singolo evento; nel caso dell’esempio, con  $N = 3$  si indica lo scenario (10) dove 1 rappresenta l’occorrenza e 0 la non occorrenza dello stesso).

La probabilità che si manifesti il passaggio dallo scenario  $N = 2$  (01) al tempo  $t$  allo scenario  $N = 4$  (11) al tempo  $t+1$  è data da  $P(2 : 4)$ . Una matrice costruita su  $n$  eventi richiede la stima di  $2^{2^n}$  possibili transizioni: un numero di dati che cresce esponenzialmente con il numero di eventi studiati.

La somma delle probabilità su ogni riga deve essere uguale ad  $I$  poiché, in essa, sono contenuti tutti i possibili stati che possono essere raggiunti a partire da uno scenario  $i$ . Dunque, visto che sulla diagonale sono presenti le probabilità che lo scenario non vari, se queste sono vicine ad  $I$  (ovvero consistenti) il sistema subirà cambiamenti lenti, mentre se sono vicine a  $0$  (ovvero basse) il sistema potrà subire mutamenti di scenario più rapidi.

Swain ed altri (1989) hanno elaborato uno schema per stimare le probabilità  $P(i : j)$  nel periodo di interesse, rispetto ad un numero di dati comunque praticabile. Si supponga che, al tempo  $t$ , le probabilità iniziali dei quattro possibili scenari rappresentati nella precedente matrice  $4 \times 4$  siano stimate e indicate tramite la matrice lineare  $S^t = [0,7 \quad 0,3 \quad 0,4 \quad 0,1]$ . Per calcolare la probabilità degli scenari al tempo  $t + 1$ , si può usare la formula

$$S^{t+1} = S^t P^{(t,1)} \quad (5.16)$$

che, nell'esempio, restituisce i valori  $S^{t+1} = [0,385 \quad 0,465 \quad 0,329 \quad 0,321]$ . Attraverso questa tecnica è possibile stimare:

- la probabilità cumulativa di occorrenze degli eventi in un particolare stato che varia nel tempo (nell'esempio, la probabilità che si verifichi l'occorrenza dell'evento 2 al tempo  $t$  è data dalla somma delle probabilità degli stati  $N = 3$  e  $N = 4$ , ovvero  $0,4 + 0,1 = 0,5$ , che al tempo  $t + 1$  diventa  $0,329 + 0,321 = 0,650$ )
- il tempo di primo transito, nel quale potrebbe essere raggiunto un certo stato (utile, per esempio, quando si intende valutare l'allocazione delle risorse). La correlata probabilità di primo transito che il sistema effettui una transizione da uno stato  $i$  al tempo  $t$  allo stato  $j$  in un numero  $k$  di transizioni è data da

$$P^{(t,k)} = P^{(t,1)} P^{(t+1,1)} P^{(t+2,1)} \dots P^{(t+k-1,1)} \quad (5.17)$$

la quale formula, assumendo che la matrice sia invariante rispetto al tempo, diventa

$$P^{(t,k)} = [P^{(t,1)}]^k$$

Nel caso dell'esempio, per due transizioni si ottiene

$$P^{(t,2)} = [P^{(t,1)}]^2 =$$

|        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|
| 0,302  | 0,420  | 0,118  | 0,160  |
| P(1:1) | P(1:2) | P(1:3) | P(1:4) |
| 0,000  | 0,722  | 0,000  | 0,278  |
| P(2:1) | P(2:2) | P(2:3) | P(2:4) |
| 0,000  | 0,000  | 0,422  | 0,578  |
| P(3:1) | P(3:2) | P(3:3) | P(3:4) |
| 0,000  | 0,000  | 0,000  | 1,000  |
| P(4:1) | P(4:2) | P(4:3) | P(4:4) |

Per il periodo compreso tra  $t$  e  $t + 2$ , la probabilità di permanere nello stato  $N = 1$  è  $0,302$  e di andare allo stato  $N = 2$  è  $0,420$ , mentre permane l'effetto "trappola" per lo stato  $N = 4$

Sempre rispetto all'esempio, per un numero  $k$  di transizioni si ottiene

$$P^{(t,k)} = \begin{bmatrix} [0,55^k] & [0,85^k - 0,55^k] & [0,98(0,65^k - 0,55^k)] & [1 - 0,85^k - 0,98(0,65^k - 0,55^k)] \\ 0 & [0,85^k] & 0 & [1 - 0,85^k] \\ 0 & 0 & [0,65^k] & [1 - 0,65^k] \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Per mezzo di questa matrice  $P^{(t,k)}$  è possibile studiare sia il tempo sia la probabilità che, a partire dallo stato base  $N = 1$  (che non presenta occorrenze di alcun evento), sia raggiunto lo stato  $N = 4$  (dove entrambe gli eventi presentano occorrenze) dalla  $k$ -esima transizione usando la formula  $P(1:4) = [1 - 0,85^k - 0,98(0,65^k - 0,55^k)]$ .

Il risultato alle varie iterazioni è:

| $k$ | $P(1:4)$ | $f(1:4)$ |
|-----|----------|----------|
| 0   | 0,000    | -        |
| 1   | 0,052    | 0,052    |
| 2   | 0,160    | 0,108    |
| 3   | 0,280    | 0,120    |
| 4   | 0,393    | 0,113    |
| 5   | 0,492    | 0,099    |
| ... | ...      | ...      |
| 19  | 0,954    | 0,008    |
| 20  | 0,961    | 0,007    |

dove  $f(1:4)$  indica invece la probabilità di raggiungere lo stato  $N = 4$  nella  $k$ -esima transizione, che varia dinamicamente da step a step. La tabella indica che, in corrispondenza della più alta probabilità di primo transito ( $0,120$ ), il tempo di primo transito da  $N = 1$  a  $N = 4$  è stimabile attraverso  $1(0,052) + 2(0,108) + \dots = 7,28$ .

Per ridurre la complessità delle elaborazioni è possibile ridurre il numero di scenari considerati, attraverso l'inserimento di appositi vincoli predeterminati (ad esempio, se l'evento  $1$  deve precedere forzatamente l'evento  $2$ , il verificarsi o meno del secondo non modifica la probabilità del primo).

Tra i problemi nell'adozione di questa tecnica si segnala che la relazione tra  $P(i:j)$  e  $P(i)$  dovrebbe essere simmetrica (se non lo è, possono essere utilizzati appositi quozienti di probabilità, che non assicurano il rispetto delle regole stocastiche di Bayes) e che, inoltre, se l'occorrenza di un evento provoca un impatto su un altro evento, anche il non verificarsi del primo genera degli impatti sul secondo. Quindi, è necessario un processo di ricerca adeguato per raccogliere i dati sugli eventi e le loro relazioni, nonché per stabilire una scala che consenta di traslare le opinioni degli esperti e le conoscenze acquisite sulle probabilità del verificarsi degli eventi in stime coerenti delle relative probabilità, valide ai fini dell'applicazione della tecnica.

## IL MODELLO KSIM

Sempre con lo scopo di estendere le informazioni di base provenienti dal modello statico della matrice degli effetti incrociati, è possibile utilizzare il modello KSIM, ovvero una tecnica deterministica (Kane, 1972; A.J. Lipinski 1990; Black, Oldham e Marcy 1994) con la quale si produce una simulazione dinamica della realtà che segue un comportamento “probabilistico”. La modellizzazione dei fenomeni reali consente agli esperti di risolvere problemi molto complessi e caratterizzati da tempi e risorse limitate, attraverso la discussione e la valutazione di possibili scenari alternativi e delle loro conseguenze.

Nel modello KSIM, gli input sono sia soggettivi sia oggettivi, mentre gli effetti e la loro importanza sono stimati soggettivamente, ovvero si assume che le esperienze, le opinioni ed i giudizi siano considerati come parte integrante dei dati matematici utilizzati e che influiscano sul processo di decisione.

Prima di tutto gli analisti devono accordarsi:

- sulle assunzioni relative agli obiettivi dello studio;
- sul livello di aggregazione e di semplificazione della realtà;
- sui limiti temporali e spaziali;
- sui possibili limiti assunti dalle variabili durante la simulazione;
- sull’ipotesi che gli effetti del verificarsi di un evento insistono su un altro sviluppando le interazioni attraverso un’equazione differenziale, che produce una curva logistica sigmoidale, crescente o decrescente come nei processi biologici.

Per progettare un’adeguata modellizzazione della realtà, si ipotizza che siano ben identificate e definite le variabili  $X_i$  ed il loro valore iniziale, le loro interazioni casuali ed il loro massimo valore per normalizzarle in un range compreso tra  $0$  e  $1$ . L’equazione differenziale adottata per mostrare l’andamento continuativo nel tempo delle variabili  $X_i$  identificate, definite e quantificate è:

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_{j=1}^N (\alpha_{ij} + \beta_{ij} \frac{dX_j}{dt}) X_i \ln X_i \quad (5.18)$$

dove  $N_i$  è il numero totale di variabili considerate,  $X_j$  la variabile che produce l’impatto su  $X_i$ ,  $\alpha_{ij}$  una stima della grandezza di questo effetto sul lungo periodo ed  $\beta_{ij}$  una stima sul breve periodo.

La soluzione di questa equazione differenziale è

$$X_i(t + \Delta t) = X_i(t)^{P_i(t)} \quad (5.19)$$

dove  $X_i(t + \Delta t)$  rappresenta il valore della variabile alla fine del periodo temporale  $\Delta t$ ,  $X_i(t)$  rappresenta il valore della variabile all'inizio dello stesso periodo ed, infine, si ha

$$P_i(t) = \frac{1 + 0,5t \sum_{j=1}^N [I_{ij}(t) - I_{ij}(t)] X_j(t)}{1 + 0,5t \sum_{j=1}^N [I_{ij}(t) + I_{ij}(t)] X_j(t)} \quad (5.20)$$

con il numeratore di  $P_i(t)$  che è uguale ad  $1 + \Delta t$  (somma degli effetti inibenti su  $X_i$ ), con il denominatore di  $P_i(t)$  che è uguale ad  $1 + \Delta t$  (somma degli effetti positivi su  $X_i$ ) e con

$$I_{ij}(t) = \alpha_{ij} + \frac{\beta_{ij}}{X_j(t)} \left[ \frac{dX_j(t)}{dt} \right].$$

Con le stesse modalità utilizzate per il calcolo degli impatti nella matrice degli effetti incrociati è possibile stimare le grandezze  $\alpha_{ij}$  degli impatti su tutte le altre variabili che sono generati in base ai valori assunti della variabile  $X_j$  per ogni evento, nonché le grandezze degli impatti generati dal tasso di cambiamento  $\frac{dX_j}{dt}$  per ogni evento e l'inclinazione  $\beta_{ij}$  della curva che disegna il trend di  $X_j$  rispetto agli altri eventi. Quindi, è possibile calcolare i risultati delle predette equazioni differenziali - agevolmente con un computer - ed effettuare le previsioni. I valori numerici delle grandezze  $\alpha_{ij}$  e  $\beta_{ij}$  sono proporzionali alla misura degli impatti. Gli effetti sono positivi (maggiori di zero) se apportano l'incremento nella grandezza della variabile, sono negativi (minori di zero) se la inibiscono. Inoltre, se  $X_j$  non genera effetti su  $X_i$ , allora  $\alpha_{ij}$  e/o  $\beta_{ij}$  sono uguali a  $0$ .

Quando la somma degli effetti indicati nel numeratore sono maggiori della misura degli effetti calcolati nel denominatore, la potenza risulta  $P_i(t) > 1$  e, visto che  $0 \leq X_i(t) \leq 1$ ,  $X_i(t + \Delta t)$  risulterà inferiore a  $X_i(t)$ . Più grande sarà la variabile che causa l'effetto, più questo avrà una grandezza maggiore. Inoltre, per una dato valore di  $P_i(t)$  si avrà un effetto minore sulla grandezza di  $X_i$  se questo presenterà valori vicini a  $0$  oppure a  $1$ .



La simulazione prosegue, di uno step per volta, reiterando la tecnica per migliorare la valutazione degli effetti, la definizione delle variabili e dei loro valori fino ad ottenere dei risultati soddisfacenti (anche rispetto alle informazioni disponibili e a comportamenti attesi a livello teorico o al paragone con situazioni similari).

Una volta definito un modello considerato valido ed esemplificativo della realtà, possono essere verificati gli effetti conseguenti alle modifiche delle assunzioni e dei valori delle variabili iniziali, nonché all'introduzione delle esternalità (come eventi speciali, decisioni politiche,...) che possono essere considerate come variabili nella matrice degli effetti incrociati. In quest'ultimo caso, gli impatti delle esternalità sono inseriti esclusivamente e solamente come colonne aggiuntive nella matrice (perché esse impattano sulle variabili nel lungo periodo, mentre non possono subire effetti significativi generati dalle variabili) e gli analisti possono comprendere gli effetti delle stesse sul comportamento del sistema.

Per esempio, si supponga di poter modellizzare un sistema reale complesso, nel quale si ipotizza che siano ben identificate e definite 4 variabili  $X_i$ , le loro interazioni casuali ed i loro valori iniziali e finali per normalizzarle in un range compreso tra  $0$  e  $1$ : il numero delle unità degli strumenti  $N$  ed il loro costo medio  $C$ , il numero di beni  $T$  prodotti da tutti gli strumenti ed il loro costo unitario  $\$$  espresso in dollari.

Si supponga, approssimativamente, che le grandezze degli effetti siano in un range compreso tra  $0$  (effetto minore) e  $\pm 3$  (effetto maggiore per la singola variabile, ovvero quello che genera un  $10\%$  di cambiamento nel valore della variabile stessa).

| Valori iniziali | Su questa variabile | Effetto di lungo periodo di questa variabile |     |     |      |       | Effetto di breve periodo di questa variabile |     |     |      |
|-----------------|---------------------|--|-----|-----|------|-------|--|-----|-----|------|
|                 |                     | $N$  | $C$ | $T$ | $\$$ | $Est$ | $N$  | $C$ | $T$ | $\$$ |
| 0,2             | $N$                 | +3   | -1  | +3  | -1   | -1    | +2   | +1  | +2  | -1   |
| 0,35            | $C$                 | -2   | 0   | -1  | 0    | 0     | 0  | 0   | 0   | 0    |
| 0,15            | $T$                 | +2   | 0   | +3  | -2   | -1    | +2   | +1  | +2  | -2   |
| 0,30            | $\$$                | 0  | +1  | -1  | 0    | +1    | 0  | 0   | -1  | 0    |

*MATRICI DEGLI EFFETTI INCROCIATI NEL LUNGO E NEL BREVO PERIODO: LE PROBABILITÀ SONO STATE RIPORTATE NEL RANGE TRA 0 E 1.*

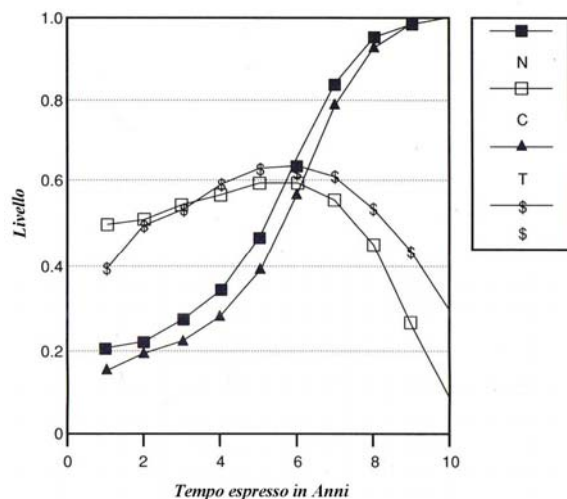


Fig. 5.21 MODELLO KSIM DI SVILUPPO DEGLI STRUMENTI NEL CASO IN CUI LE TASSE SIANO NULLE

Inoltre, si assuma anche l'esistenza di un'externalità - quale, per esempio, la tassazione dei beni prodotti dipendente da scelte politiche - che sia inserita come variabile (*Est*) nella matrice degli effetti incrociati all'interno della sola specifica colonna addizionale (perché essa impatta sulle altre variabili nel lungo periodo, mentre non può subire effetti significativi generati dalle stesse), cosicché gli analisti possano comprenderne meglio gli effetti indotti sul comportamento del sistema.

Nel caso in cui la tassazione sui beni prodotti sia nulla (Fig. 5.21), il modello prevede che il numero delle unità degli strumenti *N* raggiunga rapidamente il massimo valore, come il numero di beni *T* prodotti da tutti gli strumenti. Mentre il costo medio *C* degli strumenti cresce lentamente e poi cala. Quindi, in base alle informazioni disponibili, la simulazione proseguirà reiterando la tecnica (a partire ogni volta dal primo anno) per migliorare la valutazione degli effetti, la ridefinizione delle variabili, del loro comportamento e dei loro valori iniziali e finali fino ad ottenere dei risultati soddisfacenti.

Una volta che il modello sarà stato ben "registrato", sarà possibile analizzare il comportamento delle variabili indotto dalle externalità (quali, ad esempio, gli interventi del decisore pubblico, Fig. 5.22). Si assuma che sia imposta una tassazione del 5% sul normale costo dei beni prodotti (anche in questo caso definita in un range compreso tra  $\theta$  e  $\pm I$  in base al livello di imposizione fiscale), come effetti si produrranno la variazione in diminuzione della rapidità con cui cresce il numero delle unità degli strumenti *N* ed il numero di beni *T* prodotti da tutti gli strumenti, mentre il costo medio *C* crescerà a più alti valori (ma il valore massimo sarà raggiunto in un tempo più lungo) prima di calare. Il loro costo

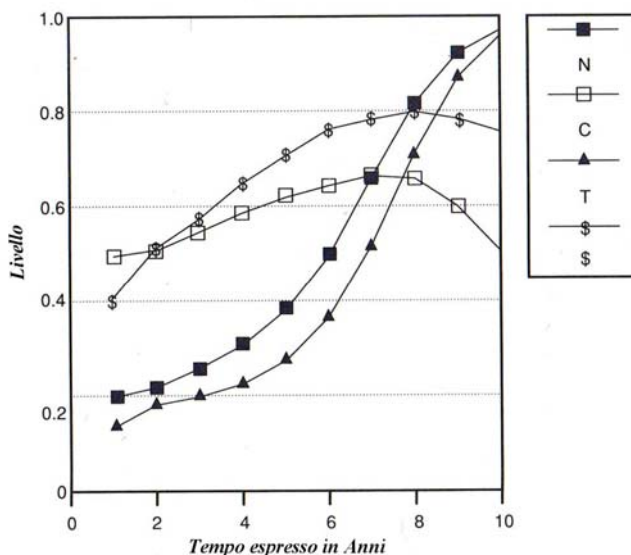


Fig. 5.22 MODELLO KSIM DI SVILUPPO DEGLI STRUMENTI NEL CASO IN CUI SIANO PRESENTI DELLE TASSE SUL NORMALE COSTO DEI BENI PRODOTTI

unitario  $\$$  degli strumenti crescerà di più rispetto al caso senza tasse, raggiungendo un valore molto più elevato rispetto al caso precedente.

## **5.6 L'OPINIONE DELL'ESPERTO**

I manager che gestiscono i progetti di innovazione tecnologica e che hanno la responsabilità di dover prendere le eventuali decisioni di investimento possono presentare personali lacune di conoscenze ed esperienze rispetto alla comprensione ed all'interpretazione dei risultati generati dai modelli di estrapolazione del trend tecnologico e dalle tecniche di simulazione. Dunque, i manager hanno la necessità di ascoltare ed analizzare la fondamentale opinione di uno o più esperti, che possono essere identificati - internamente all'organizzazione o esternamente nel mercato - e selezionati in base:

- alle conoscenze reali nel settore di interesse, alle competenze ed alle esperienze vissute;
- alla creatività ed alla capacità di far fronte alle incertezze;
- alla localizzazione;
- alla disponibilità ed alla capacità di comunicazione e cooperazione;
- al contesto di riferimento;
- ed alle tecniche e procedure adottate.

L'opinione espressa dagli esperti è utile riguardo a fatti che si sono già verificati nel passato - relativamente ai quali ognuno potrebbe mostrare diversi giudizi - oppure rispetto a proiezioni di quanto potrebbe accadere nel futuro, tenendo conto delle forti incertezze e delle differenti visioni dei singoli individui coinvolti.

Il processo di raccolta delle opinioni degli esperti consente agli stessi manager di completare il proprio quadro di informazioni necessarie a valutare rischi e benefici e, quindi, di prendere le successive decisioni che manifesteranno importanti effetti sull'organizzazione nel breve e nel lungo periodo.

Non sempre i manager riescono a stimare tempestivamente se le qualità e le caratteristiche individuali dell'esperto selezionato soddisfano le esigenze per le quali è stato identificato, anche rispetto alla rilevanza delle decisioni da assumere: talvolta, un individuo può essere troppo "generalista" o troppo "settoriale" rispetto alle necessità del caso. Inoltre, è necessario isolare i pregiudizi del singolo o di gruppi di esperti e il loro possibile moral hazard, poiché potrebbero compromettere gli esiti delle ipotesi sui possibili scenari futuri.

Tra i metodi adottati per ottenere dagli esperti le opinioni necessarie per prendere le successive decisioni, si evidenziano:

- le interviste individuali che possono essere:
  - strutturate e programmate con risposte chiuse facilmente confrontabili fra loro;
  - focalizzate ad ottenere informazioni soggettive sul caso di studio tramite domande a risposta aperta;
  - non strutturate, con domande non programmate né pre-impostate, ma con risposte difficili da confrontare

tenendo conto che l'intervistatore deve essere adeguatamente preparato sulle tematiche affrontate, che l'attenzione dell'intervistato è limitata nel tempo e che le domande ininfluenti sottraggono tempo alla ricerca delle informazioni importanti.

- i gruppi di lavoro di esperti, realizzabili nella forma di commissioni, di seminari e di conferenze (che presentano un numero di partecipanti ed un livello di formalità crescente e, contemporaneamente, un decremento delle possibilità di interazione e della frequenza degli incontri). Le conferenze sono più adatte allo scambio generale di informazioni, mentre le commissioni normalmente sono istituite per scambiare tra gli esperti informazioni su argomenti specifici ed elevare il grado di conoscenza dei singoli, consentendo talvolta di superare possibili situazioni di disinformazione ed errori nelle valutazioni. La riuscita di una commissione è soggetta alla qualità del lavoro del responsabile della stessa, al grado di cooperazione fra gli esperti, alla loro credibilità individuale.
- la tecnica Nominal Group Process (Roper, 1986; Levary e Han, 1995), che si differenzia dal tradizionale brainstorming poiché incorpora sia la stimolazione della creatività e la generazione di idee da parte di un gruppo di massimo 10 esperti in differenti settori, sia un processo di valutazione dell'ordine di importanza delle stesse, in un clima di forte interazione, competizione e cooperazione costruttiva. Per dare buoni risultati il processo deve essere reiterato almeno due volte (verificando i feedback delle varie iterazioni).

*Step 1.* All'inizio del processo ogni singolo esperto (oppure un piccolo gruppo senza interazioni), in modo solitario ed in un tempo limitato, genera una serie di idee in competizione con gli altri esperti, elencando i fattori che ritiene centrali.

*Step 2.* Si passa ad una fase di confronto non commentato delle liste di idee prodotte dai singoli, che vengono raccolte in un unico elenco per condividerle, focalizzare i problemi, visualizzare le conflittualità.

*Step 3.* A questo punto, si procede con la discussione di tutto l'elenco delle idee (evitando di far implodere il gruppo per l'eccesso di antagonismo fra gli esperti), si chiarificano i significati dei fattori, se ne aggiungono altri, si tolgono le duplicazioni e le sovrapposizioni.

*Step 4.* Quindi, in modo solitario, ogni singolo partecipante seleziona una percentuale delle idee che giudica più importanti fra tutte quelle elencate sino a quel momento, manifestando con un voto il proprio ordinamento delle stesse e le possibili alternative.

*Step 5.* Le idee vengono ordinate in base alla predetta selezione e votazione: il gruppo di esperti (attraverso l'interazione) deve valutare e criticare il risultato generale, riverificando i criteri generali adottati ed i fattori elencati.

*Step 6.* Nuovamente, in modo solitario, i singoli esperti selezionano le idee che ritengono più importanti e le valutano rispetto ad una scala da **0** a **100**, in base alla stima dell'importanza: così, attraverso l'interazione e la cooperazione, viene generato l'elenco definitivo dei fattori.

- le indagini, che rappresentano una tecnica semplice (senza feedback), rapida e poco costosa per ottenere le informazioni da gruppi di esperti, per effettuare una stima e per evitare i problemi dei gruppi di lavoro. Le indagini vengono effettuate - personalmente o in modo indiretto - in base a domande chiare, concise, non ambigue, senza pregiudizi e senza assunzioni fuorvianti.
- la tecnica Delphi (EFE) - una speciale forma di indagine, più costosa di quelle tradizionali - che assicura l'anonimato al gruppo di esperti partecipanti, anche per ridurre le conflittualità ed evitare il permanere di posizioni indifendibili. La tecnica è composta da questionari posti in serie ad iterazioni successive, denominate "round" (di norma sono 4), in ognuna delle quali sono raccolte le informazioni dagli esperti, elaborate e riportate come feedback ai partecipanti nei termini statistici di risposta del gruppo (mediana e inter-quartili) e di analisi delle argomentazioni pro e contro taluni punti di vista, in modo da consentire ai singoli di rivedere la propria opinione. È assai importante anche la validità e l'affidabilità delle domande che sono poste nei vari round e che sono fondamentali per la stabilità dei risultati della tecnica. La Delphi è molto adatta per le previsioni "normative" e presenta alcune possibili varianti (come la Shang Inquiry e l'EFTE).

Per scegliere quanti e quali metodi debbano essere adottati per ottenere l'opinione degli esperti si deve tener conto:

- del settore analizzato;
- delle risorse disponibili;
- dei modi e del grado di accuratezza richiesti;
- del rispetto dei tempi disponibili;
- degli strumenti di comunicazione e della tipologia "T" di interazione (il cui volume deve crescere con la complessità dell'organizzazione);
- della gestione del ritardo tra un feedback "F" ed il successivo;
- delle valutazioni "E".

## **CAP. 6 - L'IDENTIFICAZIONE, L'ANALISI E LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELLE INNOVAZIONI TECNOLOGICHE**

### **6.1 IDENTIFICAZIONE DEGLI EFFETTI DIRETTI ED INDIRETTI LEGATI ALLE INNOVAZIONI TECNOLOGICHE**

Nell'ambito dell'utilizzo dei modelli per effettuare le previsioni relative ai progetti di innovazione tecnologica e dei risultati da essi generati, devono essere adottate delle tecniche adeguate per identificare e selezionare con rigore gli effetti più significativi rispetto agli obiettivi prefissati dai manager, nonché per stimarne la probabilità che si verifichino (Pennisi e Scandizzo, 2003).

Dunque, prima di effettuare una scelta di investimento per la progettazione e la produzione di nuovi beni e servizi tecnologici, i manager devono disporre la stima, l'analisi e la valutazione dell'ampio spettro di effetti sul breve e sul lungo periodo, ovvero:

- dei possibili benefici economici e del rischio d'impresa;
- dell'incremento di produttività;
- della capacità di adattamento dell'azienda alle innovazioni tecnologiche;
- dell'affidabilità e del ciclo di vita dei prodotti;
- delle forme di commercializzazione;
- del possibile livello di soddisfazione dei clienti e della risposta del mercato;
- degli effetti sociali e ambientali e dei mutamenti del contesto socio-economico.

Una buona previsione e il successivo processo di valutazione devono tener conto dei suddetti effetti, perché una reazione negativa del legislatore, dei mass media, dei consumatori e degli altri stakeholder all'introduzione o all'adozione di un'innovazione limiterà i risultati che potranno essere ottenuti dalla stessa ed il suo successivo sviluppo.

Un bene tecnologicamente avanzato potrebbe essere introdotto nel mercato e rapidamente ritirato dallo stesso (senza riproporlo a seguito di costose reingegnerizzazioni) perché i potenziali clienti - suscettibili alle conseguenze negative del prodotto sull'ambiente - potrebbero decidere di non acquistarlo: una valutazione preventiva degli effetti potrebbe consentire di evitare questo investimento errato o spingere la ricerca preventiva di rimedi.

Le più considerevoli difficoltà sono nello studio e nella comprensione degli effetti causati indirettamente da altri, che sono collegati in una sequenza casuale e non prestabilita. Un'altra importante distinzione è nella valutazione dei probabili effetti "di" una tecnologia (come incide un prodotto sull'ambiente) e dei probabili effetti "su" una tecnologia da parte di altre "forze" (come la società, il legislatore ed i clienti - percependo gli effetti sull'ambiente - "reagiscono" nei confronti



del prodotto): sono due processi di analisi interdipendenti (ovvero con il primo si valutano gli effetti sociali causati da una tecnologia e con il secondo si prevedono gli effetti sociali presenti e futuri che influenzano la tecnologia).

Naturalmente, gli studi collegati alle stime degli effetti hanno differenti costi e quantità di lavoro e possono essere così definiti (Rossini ed altri, 1976):

- Macro-valutazione, per stimare in profondità tutte le possibili implicazioni, impiegando da 5 a 10 persone per anno di lavoro;
- Mini-valutazione, per una stima limitata - ma in profondità - oppure ampia - ma poco profonda - impiegando meno personale di prima;
- Micro-valutazione, ovvero una elaborazione di idee o un esercizio di brainstorming per identificare i fattori chiave e determinare la dimensione del problema, impiegando un'unità al mese di lavoro;
- Monitoraggio, per ottenere con continuità informazioni selezionate, utili per effettuare una previsione o verifiche post-valutazione, con un impiego modesto di forza lavoro;
- Valutazione della performance di progetti o di programmi, identificando i necessari cambiamenti e fornendo il feedback relativo alla validità dei precedenti lavori di stima degli effetti (impiegando 1 persona al mese di lavoro).

La scelta di quale metodo applicare dipende dalle necessità dei manager: in molti casi, si può adottare una Micro-valutazione, per ottenere delle risposte rapide e comprensive - attraverso un'approssimativa analisi dello sviluppo tecnologico, degli effetti e delle possibili scelte politiche - che chiariscono le azioni da compiere.

### **L'IDENTIFICAZIONE DEGLI EFFETTI**

Relativamente al processo di identificazione degli effetti più significativi si procede, innanzitutto, con la fase della definizione del problema che è composta da:

- gli obiettivi da perseguire;
- la definizione dell'orizzonte temporale e dell'estensione spaziale (interna od esterna all'organizzazione ed alla nazione di riferimento);
- l'identificazione delle istituzioni interessate;
- l'individuazione di tutti i fattori critici, anche adottando la tecnica Nominal Group Process;
- la determinazione delle condizioni di base, a partire dalla descrizione degli attuali contesti tecnologico e sociale seguita della previsione delle rispettive probabili situazioni future in assenza dell'introduzione della nuova tecnologia.

Dunque, l'identificazione degli effetti si ottiene dall'osservazione delle probabili variazioni rispetto alle condizioni di base causate dall'innovazione tecnologica introdotta.

Il numero degli effetti da catalogare non deve mai essere eccessivo per evitare l'identificazione di impatti poco significativi: ciò si può ottenere attraverso l'opinione di esperti, attraverso la tecnica Delphi applicata alle opinioni dei vari stakeholder oppure adottando - per tutto il processo decisionale - la tecnica AHP che consente di focalizzare gli effetti più importanti.

In generale, sono disponibili tre generiche possibili fonti: i dati, i metodi adottati e le teorie. Vista la debolezza delle teorie sul cambiamento sociale, queste non sono adatte a comprendere adeguatamente il cambiamento socio-tecnologico. È, dunque, necessario che i dati impiegati siano di buona qualità e senza "buchi", che siano identificati e descritti i metodi utilizzati affinché siano replicabili, nonché che siano indicate, infine, le incertezze legate alla previsione degli effetti rispetto all'orizzonte temporale prestabilito.

In base allo specifico processo di valutazione in atto, sono due le tecniche comunemente adottate per identificare gli effetti più significativi:

- la tecnica della scansione che identifica i potenziali effetti analizzando il range di tutti i possibili impatti in una singola fase, minimizzando la probabilità che effetti significativi siano trascurati. I metodi più utilizzati sono:
  - l'uso di una checklist nella quale sono elencati "tutti" i possibili effetti (può essere breve con un alto livello di astrazione o può essere altamente dettagliata e relativamente concreta);
  - la preparazione - attraverso il brainstorming o la tecnica Delphi - dell'elenco di tutte le parti (pubbliche e private) influenzate dalle azioni caratterizzanti lo sviluppo tecnologico, successivamente scansionato per evidenziare le modalità con cui si esplica questa influenza e per selezionare gli impatti più importanti;
  - la formazione di una matrice che collega molte azioni a molti potenziali effetti e che può risultare utile - in combinazione con la tecnica dell'analisi degli effetti incrociati - per comprendere la distribuzione degli impatti e per identificare quelli indiretti (ma con questo metodo viene spesso inserito un enorme numero di dati che rende lo studio troppo complesso rispetto allo scopo dello stesso).
- la tecnica del tracciamento che evidenzia la struttura delle relazioni tra le azioni sviluppate e gli effetti, nonché tra gli effetti stessi, generando un cammino causale nel quale gli impatti diventano le cause di altri effetti successivi. Adottando il metodo degli alberi delle relazioni a partire dall'innovazione tecnologica da valutare, vengono trattate

qualitativamente e disegnate graficamente le correlazioni tra i vari elementi dell'insieme considerato, evidenziando prima gli effetti diretti, poi gli impatti generati da questi effetti, ecc... Vengono poi inserite le probabilità soggettive che si verifichi ogni possibile impatto previsto nell'insieme e, talvolta, anche la durata temporale e l'intensità di ognuno. L'ultima azione è di rispondere ad una serie di domande del tipo "what if" poste ad ogni nodo del rispettivo livello dell'albero, con lo scopo finale di comprendere quali siano gli effetti più significativi.

Gli effetti possono essere suddivisi nelle categorie di seguito riportate.

- **Scientifici e tecnologici**

Si manifestano quando l'innovazione di una tecnologia genera cambiamenti su un'altra tecnologia e vengono suddivisi in effetti verticali, orizzontali ed integrativi.

Gli effetti verticali dell'innovazione sono legati al naturale sviluppo di una data famiglia di tecnologie e si propagano spazialmente e temporalmente come "cerchi concentrici". In assenza di esternalità, la probabilità di adottare un'innovazione in un certo periodo di tempo diminuisce - esponenzialmente - con la distanza dal centro. Serve un notevole impegno attivo, da parte delle istituzioni e delle imprese, per favorire la propagazione di una tecnologia ed agevolarne l'adozione oppure per arrestarla (per esempio, restringendo l'accesso a conoscenze riservate), tenendo conto che la diffusione dipende anche dal livello di qualità delle infrastrutture di supporto, dalla grandezza delle aziende, dalle richieste e disponibilità di risorse, dalla capacità di generare un vantaggio competitivo. In alcuni casi, una certa tecnologia può diffondersi meglio all'estero, piuttosto che nel paese in cui è stata inventata.

Gli effetti orizzontali dell'innovazione scaturiscono quando i vantaggi connessi all'innovazione di una tecnologia influenzano un insieme di altre. Dopo aver disegnato le relazioni di queste con la tecnologia obiettivo, è necessario analizzare e comprendere i processi di sviluppo e la natura delle interazioni che possono permettere o generare la domanda di nuove risorse o inibire o precluderne altre. Le opportunità tecnologiche si verificano quando esiste la domanda economica o le tecnologie di supporto sono disponibili per sviluppi particolari (come ad esempio la realizzazione dei dvd registrabili da parte di una grande compagnia ha rappresentato una nuova opportunità come piattaforma audio-video per usi domestici, ma anche una grande opportunità per molte imprese che si sono impadronite della tecnologia). I "colli di bottiglia" si verificano quando la mancanza di una singola innovazione impedisce lo sviluppo di una tecnologia su ampio spettro (come ad esempio il lento sviluppo delle batterie e dei loro sistemi di ricarica, impedisce lo

sviluppo delle automobili elettriche). L'insieme delle opportunità tecnologiche e dei "colli di bottiglia" indicano le aree ad alto potenziale che consentono di valutare gli effetti orizzontali e la rapidità delle innovazioni anche in relazione alla loro competitività, alla loro utilizzabilità su più settori, all'esistenza di un'impresa dominante, alla disponibilità dei fornitori, alla soddisfazione dei consumatori, ecc....

Gli effetti integrativi sono quelli in cui si armonizzano l'innovazione tecnologica ed i cambiamenti del contesto di riferimento, identificando le interrelazioni tra le istituzioni, la diffusione delle conoscenze, lo sviluppo di una certa tecnologia e le influenze di questa su altre, gli effetti finali relativi alla produttività economica. Questi possono essere valutati (Sumanth, 1988) attraverso l'analisi dei fattori relativi:

- ai consumatori (qualità del prodotto, prezzo competitivo, fedeltà);
- al mercato (quota acquisita, immagine aziendale);
- al processo (ciclo di vita del prodotto; efficienza di produzione);
- ai lavoratori (formazione richiesta, soddisfazione individuale, dislocazione);
- alla rete di vendita (capacità dei venditori e loro fedeltà);
- alla proprietà (profitti, vitalità dell'azienda sul lungo periodo).

- **Economici**

Si manifestano con l'integrazione di una nuova tecnologia nella struttura delle attività economiche, comportando l'utilizzo delle risorse in modo più efficace, il miglioramento della produttività del lavoro e dei capitali investiti, l'incremento del livello di sviluppo economico di una nazione e delle imprese, nonché le variazioni nel tasso di occupazione, nella capacità di spesa e nelle preferenze dei consumatori, nella qualità della vita.

Nel caso di analisi di macro-sistemi, si tratta di stimare gli effetti che si manifestano in casi come la rivoluzione industriale, l'introduzione nelle fabbriche della produzione in serie, il processo di crescita accelerata dei Paesi emergenti dell'est asiatico che sono diventati delle potenze economiche partendo da situazioni assai critiche.

Si deve sempre tener conto che una tecnologia lanciata, quando i profitti del sistema economico sono alti ed il tasso di disoccupazione è basso, ha maggiori possibilità di successo rispetto ad una introdotta quando è presente un'elevata insicurezza fra i consumatori e le imprese lottano per la sopravvivenza, ma può anche aiutare la società ad uscire da periodi recessivi quando la sua produzione favorisce gli investimenti ed il recupero. Ed ancora, se le unità lavorative diventano scarse e, quindi, il costo lavoro cresce, un'innovazione che migliori la produttività avrà successo perché eviterà l'innalzamento dei costi di produzione.

- **Istituzionali e sulle organizzazioni**

Si manifestano con l'introduzione di un'innovazione tecnologica di prodotto/processo in un'organizzazione che genera un impatto sulle e nelle istituzioni ed organizzazioni, tenendo conto delle influenze prodotte su gruppi di individui tra loro relazionati collettivamente in modo formale (ad esempio, agenzie governative) o informale (comunità di lavoratori o di oppositori allo sviluppo), che possono avere obiettivi impliciti o espliciti.

Innanzitutto, è necessario effettuare una valutazione anticipata degli effetti del cambiamento organizzativo interno (riorganizzazione) collegato, con lo scopo di ottenere il massimo beneficio dall'adozione della stessa (differenti fornitori, lavoratori con competenze diverse e la loro motivazione al cambiamento, metodi di fabbricazioni, sistemi di consegna, ecc...). Inoltre, è necessario valutare gli effetti reciproci del cambiamento su altre istituzioni ed organizzazioni che interagiscono con l'organizzazione che ha introdotto l'innovazione tecnologica.

In particolare, devono essere combinate le strutture istituzionali che rispecchiano le relazioni esistenti ed i processi che rappresentano i comportamenti che si manifestano nel contesto strutturato, evidenziando le potenziali discordanze tra le necessità connesse all'innovazione e le capacità organizzative (per eccessiva complessità della tecnologia, incapacità degli amministratori pubblici locali o dei dirigenti politici).

- **Socio-economici**

Si manifestano quando l'introduzione di importanti innovazioni tecnologiche modifica la qualità della vita ordinaria delle famiglie, dei gruppi e delle comunità locali e nazionali. Per valutare adeguatamente questi effetti è necessario individuare i più significativi fra essi, le loro caratteristiche e interrelazioni e, quindi, scegliere le modalità per analizzarli.

Le analisi degli effetti socio-economici devono essere sviluppate tenendo conto dell'area geografica e del contesto sociale di riferimento, delle caratteristiche occupazionali e lavorative, del livello di formazione degli individui, nonché del periodo temporale in cui vengono effettuate.

Le informazioni necessarie possono essere acquisite attraverso

- dati disponibili raccolti per altri scopi (ad esempio, quelli relativi ai censimenti, a statistiche pubbliche settoriali, a lavori di commissioni strategiche, a ricerche scientifiche, ad indagini giornalistiche);
- indagini specifiche per ottenere da esperti ed individui le proprie percezioni e giudizi di possibili effetti generati da certe modalità d'uso di un'innovazione tecnologica;
- metodi d'osservazione che consentono di studiare con continuità l'andamento naturale delle attività sociali in una certa area ed in un certo periodo temporale (ad esempio, tramite un ricercatore appositamente collocato in un certo contesto oppure con l'acquisizione di informazioni tramite canali mass-mediatici).

Raccolte tutte le informazioni necessarie, si deve procedere con la valutazione degli effetti socio-economici per cercare di comprendere i rischi di contestazioni da parte di certe categorie di soggetti e di creare un clima collaborativo e cooperativo fra tutti gli interessati. Ad esempio, a livello "macro", le comunità risentono molto degli impatti occupazionali ed ambientali collegati alla costruzione di una nuova fabbrica o alla diffusione di un'innovazione tecnologica, che possono generare - come effetti primari - direttamente posti di lavoro nei settori di produzione, indirettamente posti di lavoro nei fornitori e, successivamente, nelle aziende che erogano servizi.

Ad esempio, le previsioni occupazionali connesse all'innovazione tecnologica possono essere valutate tramite la formula (Rumberger e Levin, 1985):

$$\textit{Occupazione} = \textit{Output} \times \frac{\textit{Lavoro}}{\textit{Output}} \times \frac{\textit{Occupazione}}{\textit{Lavoro}}$$

dove l'output futuro riflette la domanda di beni e servizi; il lavoro richiesto per unità di output riflette la produttività futura incrementata grazie al cambiamento tecnologico; l'occupazione per unità di lavoro richiesto consente la possibilità di lavoro part-time o in subappalto. Questo modello deve essere adattato al contesto reale, poiché l'innovazione tecnologica potrebbe generare miglioramenti dei prodotti e dei servizi piuttosto che l'incremento della produttività.

La diffusione di un'innovazione tecnologica genera anche effetti sociali e comportamentali secondari, poiché favorisce la crescita dei redditi e demografica (aumento dei flussi migratori e delle nascite residenziali), porta allo sviluppo dell'edilizia residenziale, del commercio e dei servizi pubblici con il correlato aumento della spesa pubblica, cui segue il

naturale incremento degli introiti fiscali (tasse sui redditi, sulle proprietà, sulle produzioni, sulle vendite, ecc...).

- **Culturali, comportamentali e valoriali**

Normalmente, oltre ai suddetti effetti socio-economici, si manifestano anche cambiamenti culturali che, a loro volta, influenzano i valori umani, ovvero l'insieme delle concezioni individuali o sociali degli stati desiderabili di differenti affari che guidano i giudizi rispetto ad eventi ed oggetti specifici. Alcune innovazioni tecnologiche possono generare considerevoli effetti sui valori di un'intera società o di parte di essa (ad esempio, sui lavoratori dell'azienda interessata dal processo di innovazione) e si possono manifestare nel breve e, soprattutto, nel lungo periodo. D'altronde, i cambiamenti nei valori influenzano lo sviluppo tecnologico: questi possono essere involontari o indotti (anche attraverso campagne di marketing per generare potenziali acquirenti di una nuova tecnologia).

La stima degli effetti legati al cambiamento dei valori è collegata ai criteri attraverso i quali le persone valutano la desiderabilità di uno sviluppo tecnologico, ai mutamenti dei fattori del contesto di riferimento che possono influenzare questo sviluppo (impatti sulle tecnologie) oppure alle influenze causate da esso (impatti delle tecnologie).

È possibile ricorrere ad indagini sul campo (ad esempio tramite interviste in forma aperta/chiusa) per conoscere le varie tipologie dei valori diffusi in un gruppo umano (numericamente consistente) interessato alla e dalla innovazione, nonché le relazioni esistenti tra le tipologie valoriali e la valutazione che viene data su una nuova tecnologia e su i suoi impatti. Tramite tecniche come l'analisi degli scenari è possibile prevedere gli effetti delle innovazioni sull'impianto valoriale della popolazione e sui giudizi delle comunità umane o di parti di esse (ad esempio, rispetto alla costruzione di un nuovo sistema di trasporto, una popolazione potrebbe essere consenziente ed un'altra vicina potrebbe opporsi). È necessario anche effettuare un confronto tra i valori dei decisori e quelli del gruppo umano, per identificare le differenze importanti.

Come passo successivo, sotto la guida di leader riconosciuti, è necessario favorire la partecipazione di tutte le parti interessate per determinare le caratteristiche dello sviluppo della tecnologia (dove e come costruire, in che tempi, quali ricadute occupazionali ed ambientali, ecc...) con lo scopo di diluire le resistenze interne alla comunità.

Invece, gli effetti comportamentali riguardano i cambiamenti indotti sugli individui a seguito dell'introduzione di una nuova tecnologia, ovvero sui lavoratori (interni

all'organizzazione) e sugli utilizzatori dei prodotti e dei servizi erogati (esterni all'organizzazione). L'analisi dei bisogni degli utilizzatori può favorire la generazione di una serie di effetti positivi ed uno sviluppo tecnologico portatore di profitti.

Per far ciò è necessario:

- identificare la popolazione dei possibili utilizzatori;
- effettuare una generica indagine (ad esempio, tramite interviste) per determinare fattori chiave e terminologie, nonché per comprendere come accedere nella loro comunità;
- effettuare una specifica indagine su un campione rappresentativo degli utilizzatori per comprendere i bisogni funzionali prioritari, i tabù, la disponibilità a pagare per certe caratteristiche.

Dopo l'introduzione effettiva di una nuova tecnologia, è possibile intervistare nuovamente gli stessi individui del campione selezionato per verificare il livello di soddisfazione dei loro bisogni e la capacità dell'organizzazione di pianificare le risposte ad essi.

- **Politici e legali**

Relativamente all'innovazione tecnologica, sia gli effetti politici su di essa e sia quelli causati da essa sono basati sulla valutazione implicita o esplicita degli impatti potenziali generati sulla popolazione dallo sviluppo della stessa tecnologia e dalla catena di reazioni dell'uno rispetto all'altro. Spetta alla politica, attraverso le istituzioni, traslare i valori in azioni rappresentative della volontà del corpo elettorale, al quale rispondono direttamente ed indirettamente i dirigenti pubblici.

In particolare, è necessario tracciare l'interesse delle istituzioni su un'innovazione, fornendo una valida base per analizzare gli effetti sulla stessa e su cosa fare per favorirne l'accettazione (è necessario comprendere quali sono i principali stakeholder, il loro potere rispetto allo sviluppo tecnologico, cosa si aspettano da esso, quali decisioni critiche devono essere assunte, come è possibile collaborare con gli stakeholder per rendere maggiormente possibile l'adozione dell'innovazione). I valutatori devono sempre ottenere (non realizzare) l'analisi dei rischi politici connessi alla nazione rispetto alla quale pianificano l'introduzione dell'innovazione tecnologica, attraverso l'opinione degli esperti e l'analisi del trend di vari indicatori economici, sociali e del livello di stabilità politica.



Al contempo, attraverso l'analisi degli scenari e le simulazioni, è possibile stimare come un'innovazione tecnologica genera degli effetti nei termini di alterazione del potere politico, dovuti alla diversa percezione degli stessi da parte degli stakeholder detentori di interessi, al ruolo svolto da questi e dai loro rappresentanti, alle decisioni assunte da essi nella sequenza di eventi che caratterizzano lo sviluppo tecnologico, alle conflittualità che scaturiscono tra i differenti gruppi.

Gli effetti legali vengono analizzati per evidenziare le interazioni reciproche tra il sistema legislativo e regolamentare e lo sviluppo delle tecnologie. Ad esempio, il primo (in base alla volontà politica dominante) può favorire od inibire le seconde, attraverso l'introduzione di specifiche prescrizioni, condizioni, restrizioni, costi di licenza o concessione, così modificando le opportunità del mercato (ad esempio, impedendo alla Cina di esportare liberamente certi prodotti in Europa), favorendo o meno la cooperazione, variando la struttura del sistema decisionale.

Al contempo, lo sviluppo tecnologico (spaziando dalle telecomunicazioni all'ingegneria genetica, dalle nano-tecnologie allo sviluppo di software complessi) può essere di supporto per predisporre nuove disposizioni (ad esempio in materia di sicurezza nazionale e personale).

Ai manager spetta il compito di risolvere ogni eventuale problema legale associato all'introduzione di una innovazione tecnologica (compresi quelli relativi ai diritti sulle proprietà materiali ed immateriali, alle eventuali negligenze operative, alle attività pericolose ad alto rischio per gli individui, all'invasione dei diritti sociali sanciti per certi gruppi, ecc...).

- **Internazionali**

Si manifestano con lo sviluppo di una nuova tecnologia che può generare impatti che travalicano i confini dei singoli Stati e che assumono sempre maggiore importanza in un mondo ormai globalizzato, influenzando a loro volta le innovazioni.

Le imprese che investono nello sviluppo tecnologico devono determinare la localizzazione della R & S, degli stabilimenti di produzione, della rete di vendita, tenendo conto dei profitti di breve periodo, delle possibilità sul lungo periodo, dei rischi, dello stato delle relazioni con le istituzioni. Invece, i decisori pubblici devono tener conto del bilanciamento tra le esigenze dello sviluppo economico e la tutela ambientale, devono scegliere se acquistare una tecnologia all'estero o svilupparla all'interno del proprio sistema di ricerca, devono accordarsi con le grandi multinazionali (favorendo joint-venture con aziende e

fornitori locali ed esportazioni in altri settori), devono puntare alla creazione di opportunità occupazionali, a strategie di solidità economica sul lungo periodo, ecc....

- **Ambientali**

Si manifestano con l'introduzione di un'innovazione tecnologica e la valutazione degli impatti ambientali è normalmente e formalmente garantita dalle leggi locali e dagli accordi internazionali. Tra gli effetti sull'ambiente naturale, che sono generalmente sottoposti a controlli regolamentari, vanno annoverati quelli relativi:

- all'ecosistema (terrestre, acquatico e aereo);
- all'uso del suolo, alla gestione e conservazione dei rifiuti tossici e dei rifiuti solidi (compreso il riciclaggio), all'erosione, all'inquinamento;
- alla caratteristiche idrogeologiche, fisiche, chimiche e biologiche ed alla quantità dell'acqua;
- alla qualità dell'aria (nei termini di attenzione all'effetto serra, alle piogge acide ed ai livelli di inquinamento diretto causati dagli idrocarburi, dal monossido di carbonio, dallo zolfo, dai particolati, ecc....);
- al rumore, associato ai trasporti terrestri ed aerei, alle attività umane, alle costruzioni, alle fabbriche, ecc....;
- alle radiazioni.

Rispetto agli effetti generati nell'era del cosiddetto sviluppo industriale, gli impatti ambientali nell'era delle tecnologie sono meno gravi e possono essere identificati con tre differenti modalità di analisi:

- Tecnica della scansione (utilizzando checklist, matrici o alberi delle relazioni) per individuare gli impatti potenziali grazie alle mappe ecologiche disponibili (nelle quali sono riportate le classificazioni ed i dati delle territorio, del suolo, dell'habitat, della vegetazione, dell'utilizzazione degli stessi);
- Descrizioni sommarie (ad esempio, una fotografia aerea per misurare il livello di sconvolgimento biotico);
- Metodi di dettaglio per ottenere una maggiore precisione quantitativa per mezzo di indagini attuate calcolando le specie presenti nell'ecosistema, simulando e successivamente verificando nella realtà gli impatti delle innovazioni con l'uso delle curve biologiche dello sviluppo (sono però eccessivamente costosi e si ricorre alla letteratura settoriale esistente piuttosto che a svolgere ricerche specifiche).

- **Sulla Salute**

Si manifestano come rischi per la salute dei lavoratori o delle comunità umane interessate da un'innovazione tecnologica, nella forma di fallimenti su larga scala della stessa innovazione, di piccoli incidenti, di pericolosi effetti ritardati (tumori ed altro), di un incremento delle infezioni o del tasso di malattie degenerative. L'Organizzazione Mondiale della Sanità studia continuamente le influenze delle nuove tecnologie sulla salute, monitorandole e dichiarando - con le proprie pubblicazioni - i fattori di rischio per la salute, le fonti dei pericoli in relazione ai livelli di esposizione, il loro grado di accettabilità per gli individui e per i gruppi, le misure necessarie per mitigare gli impatti negativi (come già accaduto con la diffusione del piombo, dei rumori, delle microonde, delle radiazioni nucleari, ecc....).

La valutazione quantitativa dei rischi per la salute si ottiene (anche utilizzando checklist) con:

- la descrizione quantitativa dei piani d'azione;
- l'identificazione dei possibili casi di fallimento (attraverso parallelismi con la storia e valutazioni tecniche degli stessi piani) e la stima delle più frequenti cause primarie di insuccesso;
- la previsione del modello di dispersione;
- il calcolo dei pericoli a varie distanze e la predisposizione del profilo dei rischi.

## **6.2 ANALISI DEGLI EFFETTI DELLE INNOVAZIONI TECNOLOGICHE**

Esistono, dunque, numerose tecniche per identificare le diverse categorie di possibili effetti generati dai progetti alternativi di innovazione tecnologica, che, nella fase successiva, devono essere analizzati e valutati attraverso l'uso di specifiche tecniche di comparazione. Le tecniche che sono state considerate ai fini della presente attività di ricerca sono l'Analisi Costi/Benefici e la collegata analisi dei rischi, che consentono la stima complessiva degli impatti riconducendo le diverse categorie di effetti a livello economico.

### **ANALISI COSTI/BENEFICI**

L'Analisi Costi/Benefici (ACB) è una tecnica a base monetaria che consente ai manager di eseguire l'analisi degli effetti dei possibili progetti di innovazione tecnologica e, successivamente, le valutazioni e le scelte razionali di investimento, ottenendo un'efficiente allocazione delle risorse limitate (umane, economiche, finanziarie, ecc...). Chiaramente, l'analisi è una fase tecnica, mentre il momento di "scelta" è una fase "politica".

Per valutare la bontà delle diverse alternative di intervento in funzione di vincoli ed obiettivi, le organizzazioni ricorrono alla comparazione dei costi e dei benefici associati alla implementazione di ciascun singolo progetto in un dato periodo di tempo. L'ACB misura i vantaggi derivanti da questo in termini di guadagni di utilità ricavati dagli stakeholder (promotore pubblico o privato, organizzazione, comunità sociale etc.) e complessivamente dalla società, esprimendo in termini monetari gli effetti positivi (benefici) e negativi (costi) complessivamente derivabili dalla stessa opzione d'intervento.

Normalmente, i manager devono decidere in un contesto caratterizzato da incertezza tra:

- l'opzione di non effettuare alcun intervento;
- il miglioramento marginale di un prodotto esistente (per accrescerne la qualità e la soddisfazione dei consumatori, avendo subito il ritorno economico per restituire i prestiti bancari e remunerare gli investitori);
- l'assunzione del rischio di svilupparne uno nuovo (per ottenere un forte vantaggio competitivo e una posizione dominante di mercato nei successivi tre anni), "pesando" adeguatamente tutti i possibili costi e benefici associati al progetto di innovazione e comprendendo i rischi di natura "interna" ed "esterna" all'organizzazione e per la collettività.

Se l'ACB è svolta adeguatamente ed i risultati sono comunicati con chiarezza, sarà più facile convincere gli stakeholder della fattibilità reale del progetto, anche rispetto ai possibili rischi sociali e per gli individui.

Le fasi tecniche nelle quali si articola l'Analisi Costi/Benefici sono le seguenti:

1) Definizione del problema

Il problema deve essere esplicitamente e chiaramente identificato in modo da potergli far corrispondere degli obiettivi di risoluzione concreti

2) Dichiarazione degli obiettivi

Gli obiettivi devono essere identificati in relazione alle modalità di definizione del problema e devono essere, in generale, specifici, misurabili, condivisi, realistici e perseguibili in un tempo dato

3) Identificazione delle opzioni alternative di intervento

Le opzioni di intervento devono essere identificate con un grado di specificazione coerente con il livello di specificazione dell'obiettivo

4) Analisi e misurazione dei costi e dei benefici

Gli effetti attesi più rilevanti di una data opzione di intervento - identificati attraverso le modalità individuate nel precedente paragrafo – vengono misurati qualitativamente e quantitativamente in termini di costi e di benefici

5) Differenziazione delle prospettive di analisi

Questo step deve essere effettuato quando emerge che i costi ed i benefici “privati” differiscono sostanzialmente dai costi e dai benefici sociali

6) Attualizzazione dei costi e dei benefici (o delle loro differenze)

I costi ed i benefici futuri delle diverse opzioni devono essere rapportati al loro valore corrente per poter consentire una comparazione tra le opzioni stesse

7) Analisi dei rischi e delle incertezze

Tutte le opzioni di intervento devono essere sottoposte ad una ulteriore analisi che ne misuri il livello di incertezza (“analisi di sensibilità”) in termini di attuabilità temporale. Le opzioni più “sensibili” sono da ritenersi meno affidabili nell'implementazione effettiva

8) Comparazione delle opzioni alternative e scelta

Si procede al confronto fra piani alternativi, generando un indice di beneficio globale per ciascuna opzione di intervento, che consente al decisore di determinare la scelta da implementare.

### **ANALISI E MISURAZIONE DEI COSTI E DEI BENEFICI**

In questa fase dell'ACB, si adotta il principio della “propensione a pagare” per quantificare i costi ed i benefici. Si definisce, così, una stima indiretta ed aggregata di quanto gli individui (il soggetto pubblico promotore dell'intervento e la collettività sociale) sono disposti a “corrispondere” (sostenere un costo o perdere un'opportunità) per ottenere i benefici risultanti da un dato progetto di innovazione tecnologica, tenendo in conto del valore della moneta locale, del tasso salariale, delle transazioni e dei prezzi di mercato. Il concetto di costo, inoltre, deve essere esteso anche nel senso della mancata opportunità che una determinata scelta di investimento di risorse pubbliche comporta rispetto ad altre possibilità di investimento (“costo opportunità”).

Uno degli aspetti più delicati è la valutazione adeguata degli effetti sociali generati dall'innovazione tecnologica. Infatti, i manager hanno una forte necessità di comprendere questi effetti e le possibili reazioni agli stessi prima di commercializzare un nuovo prodotto od introdurre un nuovo processo.

Per esempio, nell'ambito degli interventi pubblici, non sempre è fattibile la trasformazione in parametri monetari degli effetti connessi all'attuazione di ciascuna opzione di intervento, poiché il sistema dei benefici sociali non presenta un "mercato" che ne stabilisca il prezzo (beni ambientali, culturali, etc. hanno un valore soprattutto qualitativo) e per la presenza di esternalità ed incertezze, del potere del monopolio, delle legislazioni vigenti (che può anche inibire un'innovazione), delle tasse, ecc.... Ad esempio, una tecnologia che causa come esternalità l'allargamento del cosiddetto "buco dell'ozono", genera allarme nella popolazione locale e globale, portando alla successiva adozione di rigide legislazioni contro la stessa. Ed ancora, si pensi all'introduzione di un nuovo processo tecnologico che genera il licenziamento di alcuni lavoratori e, quindi, l'incremento della disoccupazione.

La tecnica ha subito numerose evoluzioni in relazione all'introduzione di criteri di comparabilità dei benefici sociali, dei costi sociali e dei connessi "costi opportunità" che non sono immediatamente esprimibili in termini monetari. Per questo sono state implementate diverse modalità di stima di tali costi: come, ad esempio, i "prezzi edonici" e la "dichiarazione di preferenze", entrambe legate al valore che differenti stakeholder (la collettività o parti di essa) riconoscono ad un dato bene in termini di prezzo che gli stessi sono disponibili a pagare (o compensazione che sono disponibili a ricevere) per il bene stesso. Anche la distribuzione dei costi e dei benefici sociali è un altro problema dell'applicazione di questa tecnica: se esistono coloro che ottengono benefici, non sempre si concretizzano compensazioni equivalenti per gli altri e, quindi, un progetto potrebbe rendere i bisognosi ancora più poveri.

Si rileva che la tecnica ACB presenta evidenti difficoltà nel calcolare agevolmente il tasso di sconto nell'ambito degli effetti sociali di progetti di imprese private (normalmente il tasso è più basso per progetti pubblici nel settore pubblico rispetto al caso analogo nel settore privato) e l'impossibilità di prevedere che più effetti derivanti da una stessa opzione di intervento vengano analizzati dal punto di vista della interazione reciproca, mancando, quindi, la sommabilità degli effetti sui diversi gruppi o unità e le compensazioni fra individui che subiscono effetti diversi dal progetto di innovazione tecnologica.

La misurazione dei costi e dei benefici associati ad una data ipotesi di intervento può essere effettuata attraverso una serie di metodologie, quali:

- Il metodo del quadro contabile  
Tale metodologia prevede la formulazione di un “quadro contabile sociale” mediante il quale è possibile, per ogni alternativa di intervento, una comparazione di costi e benefici di natura monetaria, fisica o inquantificabile, ed allo stesso tempo la esplicitazione (rispetto al corpo sociale ed economico) di come si distribuiscono tra i gruppi interessati (chi promuove il progetto e chi lo gestisce, chi paga e chi riceve i benefici dello stesso, in quale misura e di quale natura)
- La matrice Fini - Raggiungimenti  
Tale metodologia è analoga al metodo del quadro contabile, ma i costi ed i benefici sono definiti in termini di “raggiungimento dei fini”, cioè rispettivamente come allontanamento o avvicinamento agli obiettivi espressi in forma operativa (progetti di intervento), così come sono “apprezzati” dai gruppi sociali interessati.

Il metodo si basa su una doppia valutazione di importanza degli obiettivi, che vengono “pesati” tanto relativamente agli interessi della comunità nel suo complesso, quanto rispetto ad ogni singolo gruppo sociale, economico, ecc... I costi sostenuti da ogni singolo gruppo, relativi alle azioni dirette verso ognuno dei fini o degli obiettivi, sono moltiplicati per il fattore ponderale, in modo da valutare l'importanza attribuita da ogni gruppo ad ognuno degli obiettivi; Analogamente si procede con i benefici.

Dunque, tale metodologia tiene presente la reale situazione di compresenza di interessi contrastanti. La scelta può avvenire tenendo conto del concetto di “Pareto efficienza”.

### **ATTUALIZZAZIONE DEI COSTI E DEI BENEFICI**

Si procede, quindi, con l'attualizzazione dei costi e dei benefici, poiché i manager devono poter comprendere le risorse da allocare su un progetto di innovazione tecnologica nei termini sostanziali di stima dei profitti e dei guadagni futuri. La moneta ha un valore che dipende dal tempo (ovvero **1€** oggi ha un valore più alto di **1€** domani) e per valutarlo si calcola il Valore Presente Netto del ritorno finanziario in un numero di anni  $t$ , ovvero:

$$VPN = \frac{R_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (6.1)$$

con una formula che a partire dal tasso di sconto  $i$ , dalla stima del ricavo  $R_t$  e del  $C_t$  costo nell'anno considerato, consente di valutare quanto denaro deve essere investito oggi per avere un

ritorno atteso nel periodo considerato (ad esempio, con un tasso di interesse annuo del **5%**, risulta che **100,00€** è il valore presente netto di **115,76€** in tre anni).

Per esempio, se si assume che un'impresa può perseguire tre progetti mutuamente escludenti A, B, e C di cui sono noti i livelli di investimento iniziale, i costi operativi annuali, i ricavi annuali e, quindi, i benefici netti ( $R_t - C_t$ ), si ottiene la presente tabella (Tab. 6.a) degli ipotetici benefici netti (espressi in migliaia di euro).

| Anno | Progetto A | Progetto B | Progetto C |
|------|------------|------------|------------|
| 1    | -600       | -400       | -700       |
| 2    | 600        | 220        | 190        |
| 3    | 600        | 250        | 220        |
| 4    | -200       | 200        | 220        |
| 5    | 300        | -300       | 210        |
| 6    | -700       | 300        | 200        |

Tab. 6.a

Il progetto A presenta un elevato livello di spesa iniziale e bassi costi operativi annui, ma per problemi con le normative ambientali subisce un necessario re-investimento al quarto ed al sesto anno. Il progetto B presenta un minor investimento iniziale, ma ha costi operativi più alti del primo progetto, con un solo necessario re-investimento al quinto anno. Il progetto C richiede il più alto investimento iniziale e presenta un più modesto beneficio netto annuale, ma duraturo.

### **ANALISI DEI RISCHI E DELLE INCERTEZZE**

Considerato che i progetti alternativi di innovazione tecnologica hanno differenti possibilità di successo o fallimento, l'Analisi Costi/Benefici deve essere estesa adottando la stima delle incertezze e l'analisi dei rischi. I risultati di questa fase della tecnica possono generare scelte diverse dei manager fra le varie alternative di investimento (ad esempio, in base alla propria sensibilità individuale, un manager potrebbe tagliare progetti ad elevato rischio in favore di altri che presentano profitti minori ma anche minori rischi di perdite).

Si evidenzia che la differenza tra i rischi e le incertezze è che i primi riguardano la probabilità nota che si verifichino fenomeni generati da condizioni esterne (anche causata dall'uomo), mentre le seconde riguardano la probabilità sconosciuta che si verifichino tali fenomeni (compresi processi casuali intrinseci, errori di misurazione, imperfezioni nelle modellizzazioni, ecc...).

Normalmente, si introduce un premio per il rischio per "aggiustare" la valutazione dei progetti di investimento. Come mostrato nella tabella precedente, al crescere del tasso di sconto diminuisce il valore presente: se per un singolo progetto si adotta un  $i$  più elevato per compensarne il rischio, le alternative potrebbero divenire più attrattive per i loro valori presenti modificati dall'inclusione dei rischi.



Tra le criticità di questa semplice tecnica si rammenta che gli effetti di questi “aggiustamenti” aumentano con il passare del tempo e che si assume l’indipendenza dei risultati in ogni periodo di tempo (mentre, in realtà, i successi iniziali possono incrementare la certezza dei benefici netti negli anni successivi e le prime perdite possono completamente demolire il futuro del progetto). Per superare queste criticità possono essere adottate delle analisi di scenario, ovvero nella precedente tabella saranno inserite molte colonne per ogni alternativa di progetto che rappresenteranno le ipotesi migliori, le peggiori ed una serie di situazioni intermedie rispetto ad un dato tasso di sconto. Il numero e le tipologie di scenari costruiti dipenderanno dalla natura dei progetti e dal giudizio dei manager. La selezione fra le differenti alternative sarà fatta in base alla distribuzione delle probabilità dei risultati generati dalle stesse, rispetto ad un dato tasso di sconto.

Un altro modo per effettuare la valutazione dei costi legati ai rischi ed alle incertezze è quello di calcolarne il valore atteso, dato dalla probabilità che avvenga un’esternalità (ad esempio, incidente, sabotaggio, ecc... con 4 possibilità su 1 milione) per la stima dei correlati costi (1 milione di euro). Il valore atteso dei costi annuali legati ai rischi ed alle incertezze (4 mila euro) andrà ad accrescere il livello dei costi annuali, riducendo il correlato beneficio netto. Naturalmente, quando il valore atteso è discretamente elevato, si possono adottare delle formule per stabilizzarne gli effetti (le imprese potrebbero reagire rafforzando il servizio d’ordine e le squadre di manutenzione, piuttosto che stipulando assicurazioni, ecc.... per 10 mila euro) che però potrebbero avere dei costi effettivi maggiori dello stesso valore atteso.

Anche nell’ambito specifico della valutazione dei costi e dei benefici sociali, i manager hanno necessità di stimare le implicazioni relative all’esistenza dei rischi e delle incertezze connessi all’introduzione di una innovazione tecnologica, alla loro conoscenza scientifica, identificazione e valutazione, alla loro probabilità di manifestarsi (nel breve e nel lungo periodo), al diverso grado di percezione da parte di differenti gruppi di individui e alla relativa accettabilità sociale, alle modalità per controllarli, all’eventuale possibilità che governi ed amministratori locali hanno di promuovere od inibire la stessa innovazione. Le implicazioni etiche e legali relative alla sottostima dei rischi e ad errori materiali commessi a seguito dell’introduzione di nuove tecnologie, possono generare effetti negativi sull’opinione degli individui e gravi problemi finanziari per le imprese implicate.

Come è noto, tra i rischi che hanno maggiore impatto sulla pubblica opinione vi sono quelli relativi alla salute umana, ai problemi genetici, alla sicurezza nei luoghi di lavoro, all’ambiente e agli ecosistemi, al crollo di una diga, alla caduta di un aereo, agli incidenti in una centrale nucleare, alla dispersione di rifiuti tossici, ecc.... Questi rischi sono, in genere, stimati scientificamente (quando è possibile), quantificati e caratterizzati rispetto al tasso di occorrenze, ai dosaggi ed al tempo di esposizione.

Inoltre, per quanto possibile, con lo scopo di ipotizzare le reazioni degli individui e decidere se attuare lo sviluppo di una nuova tecnologia, si tende ad effettuare una ricognizione delle loro preferenze e percezioni dei rischi, utilizzando i dati statistici relativi a casi analoghi oppure realizzando indagini dirette per estrapolare i possibili comportamenti: gli individui possono sottostimare o sovrastimare i rischi, pensare di controllarli o meno, conoscerli o non averli mai sperimentati, verificare le scelte della politica pubblica ed economica rispetto alla loro compatibilità con la salute, ecc.... Un esempio eclatante di come la percezione dei rischi altera le scelte degli individui è nella valutazione della vita umana: nessuno pensa di scambiarla con il denaro, anche se materialmente molte decisioni quotidiane sono di questo tipo (per esempio, la scelta di dotare la propria auto dell'ABS è un costo extra che non molti sostengono - ovvero ottengono un beneficio economico - ma è dimostrato che aiuta a salvare molte vite umane).

Anche in questo caso, un modo per effettuare la valutazione dei costi legati ai rischi ed alle incertezze è quello di calcolarne il valore atteso (Zeckhauser e Viscosi, 1990). Si prendano in considerazione, per esempio, due trattamenti medici alternativi disponibili per due differenti pazienti, da sottoporre agli stessi. I risultati del trattamento A sono noti, avendo il **50%** di possibilità di curare i pazienti (implica un rischio elevato). I risultati del trattamento B sono sperimentali ed incerti: ha il **50%** di possibilità di risultare valido (in questo caso cura il **90%** dei pazienti, mentre non riesce a curare il **10%** dei pazienti, implicando un basso rischio) ed il **50%** di fallimento (nessuno risulta curato). Il valore atteso è dato dalla probabilità che la cura abbia effetto per la stima dei correlati risultati (**1** se è efficace, **0** se non funziona).

Per il primo paziente, il trattamento B non è una buona scelta poiché risulta che

$$VA(B)_1 = \sum \text{probabilità} \times \text{risultato} = (0,5)(0) + (0,5)(0,9)(1) = 0,45$$

mentre

$$VA(A)_1 = (0,5)(0) + (0,5)(1) = 0,5$$

Invece, per l'insieme dei pazienti, il trattamento B è complessivamente migliore. Si cominci somministrando il trattamento B al primo paziente. In questo caso, può verificarsi il **50%** di fallimento dello stesso (risultato **0**). Verificandosi ciò, si procede con il somministrare il trattamento A al secondo paziente (risultato **1**), determinando un valore atteso di

$$[0 + 0,5(1)] = 0,5$$

L'altra metà delle volte (ovvero l'altro **50%** dei casi), il trattamento B è valido e risulterà curativo (risultato **1**) per il primo paziente. A questo punto, il trattamento B potrebbe essere somministrato

anche al secondo paziente, risultando curativo il **90%** delle volte (risultato **1**). Pertanto, si avrà un valore atteso di

$$[1 + 0,9(1)] = 1,9$$

In ogni caso, negli esperimenti in cui il trattamento B è valido, esso non risulta curativo nel **10%** dei casi (risultato **0**). Osservando ciò, il secondo paziente preferirebbe la somministrazione del trattamento A, con un valore atteso di

$$[0 + 0,5(1)] = 0,5$$

Quindi, si ottiene un valore atteso totale del trattamento B pari

$$VA = (0,5)(0,5) + 0,5[(0,9)(1,9) + (0,1)(0,5)] = 1,13$$

il cui valore medio per ogni paziente è  $1,13 / 2 = 0,565$ , che è migliore dello **0,5** del trattamento A. Comunque, questo va suddiviso in **0,45** per il primo paziente e **0,68** per il secondo paziente (ognuno vorrebbe essere paradossalmente il secondo paziente): è un esempio che illustra le interrelazioni tra rischi ed incertezze nel sistema decisionale rispetto alla percezione del valore sociale collegato all'introduzione di una nuova tecnologia ed alla necessità di ridurre le incertezze degli effetti.

### COMPARAZIONE DELLE OPZIONI ALTERNATIVE E SCELTA

Infine, per scegliere tra progetti alternativi di innovazione tecnologica, i manager possono commettere i più comuni errori di valutazione basandosi sulla semplice somma dei benefici netti annuali dei singoli progetti (il più vantaggioso risulterebbe C), sulla nozione del periodo di payback (il migliore risulterebbe A per il più rapido ritorno degli investimenti) oppure usare più correttamente la somma dei Valori Presenti Netti dei benefici netti annuali di ogni

| % Tasso di sconto | Progetto A | Progetto B | Progetto C |
|-------------------|------------|------------|------------|
| 0                 | 0,0        | 270,0      | 340,0      |
| 1                 | 10,3       | 251,6      | 306,4      |
| 2                 | 19,2       | 234,3      | 274,7      |
| 3                 | 26,9       | 217,9      | 244,9      |
| 4                 | 33,6       | 202,5      | 216,9      |
| 5                 | 39,3       | 187,9      | 190,5      |
| 6                 | 44,0       | 174,1      | 165,6      |
| 7                 | 48,0       | 161,0      | 142,2      |
| 8                 | 51,2       | 148,6      | 120,1      |
| 9                 | 53,8       | 136,8      | 99,2       |
| 10                | 55,7       | 125,7      | 79,5       |
| ...               | ...        | ...        | ...        |
| 20                | 53,6       | 40,5       | -66,6      |
| ...               | ...        | ...        | ...        |
| 50                | -17,0      | -68,5      | -228,4     |

Tab. 6.b

singolo progetto per ottenere il valore presente totale del singolo progetto. Quest'ultimo dipende (come riportato in tabella Tab. 6.b) dal tasso di sconto che varia tra lo 0% ed il 50% annuo: per i primi valori del tasso di sconto risulta preferibile il progetto C, poi al crescere di esso sono

preferibili B ed A. Per i manager, dunque, la scelta critica è, dunque, quella del corretto tasso di sconto determinabile in base al costo del capitale d'impresa, a sua volta dipendente dalla struttura finanziaria, dal sistema fiscale, dalle condizioni del credito, dalla posizione creditizia, dal livello di rischio del singolo progetto, ecc...

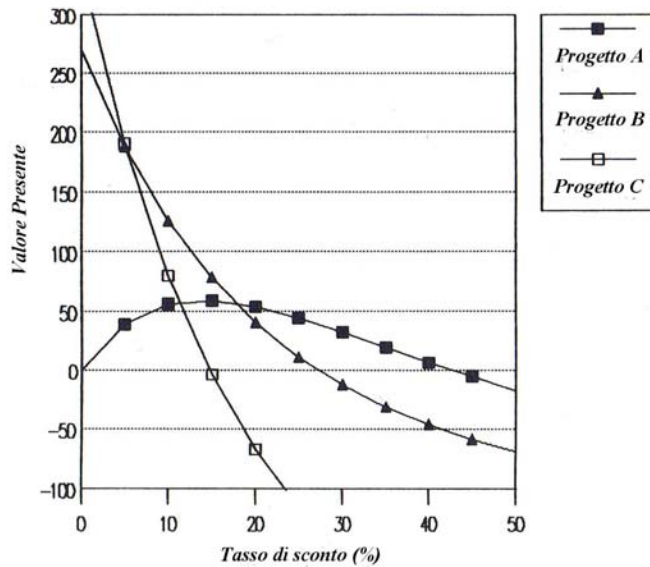


Fig. 6.1 IL VALORE PRESENTE DEI BENEFICI NETTI DEI TRE PROGETTI

Un altro utile criterio per la scelta tra progetti alternativi di innovazione tecnologica è il tasso di ritorno ovvero il tasso di sconto che annulla la somma dei valori presenti dei benefici netti del singolo progetto (Fig. 6.1). Questo viene usato come filtro per eliminare i progetti meno profittevoli fra quelli considerati. Come mostrato in figura, il tasso interno di ritorno del progetto A è 0% oppure 42,7%, del progetto B è circa 27,2%, del progetto C è circa 14,7%. La lettura di questi dati non è univoca: A presenta il più alto (caso migliore) ed il più basso

(caso peggiore) tasso di ritorno, mentre B risulta migliore di C per alti tassi di interesse e peggiore negli altri casi.

### **6.3 VALUTAZIONE DELLE TECNOLOGIE E DEI LORO EFFETTI**

Completate le fasi di identificazione ed analisi delle diverse categorie di possibili effetti generati dai progetti alternativi di innovazione tecnologica, è necessario procedere alla successiva fase di valutazione e scelta fra le diverse opzioni di investimento.

Questa fase è caratterizzata da:

- incertezza per la carenza di elementi sufficienti per poter valutare completamente l'esito delle decisioni da assumere;
- rischio sulla probabilità che la decisione da assumere non produca l'esito desiderato;
- complessità decisionale per la presenza di più obiettivi tra loro concorrenti da perseguire, più alternative di decisione per implementare i diversi obiettivi, più criteri utilizzabili per misurare il grado di performance delle diverse alternative rispetto agli obiettivi, più variabili (tra loro anche non direttamente comparabili) per implementare i diversi criteri di misurazione e più attori (i decisori ed i vari stakeholder).

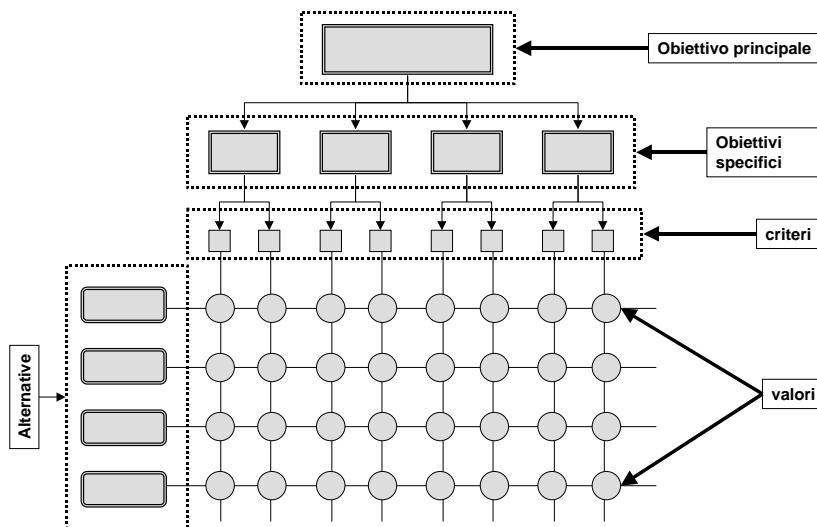


Fig. 6.2

È, dunque, necessario introdurre i processi, gli obiettivi, i criteri e le misure (Fig. 6.2) per valutare gli effetti prospettici futuri generati dalle innovazioni tecnologiche con lo scopo di assegnare un relativo valore alle differenti alternative di sviluppo di nuove tecnologie e di effettuare le necessarie

analisi comparative che supportano l'adozione delle decisioni di investimento da parte dei manager.

La valutazione è il processo che - in un contesto caratterizzato da generale incertezza rispetto al futuro - consente l'assegnazione dei valori alle singole alternative e richiede prioritariamente la definizione di:

- quali effetti delle tecnologie sono stati identificati ed analizzati;
- chi è coinvolto nel processo di valutazione e il ruolo che svolge;
- quali criteri sono stati adottati e come questi vengono pesati;
- quali sono le tecniche utilizzate per effettuare le misure rispetto ai criteri determinati.

## **IL COINVOLGIMENTO**

La valutazione degli effetti delle innovazioni tecnologiche ha due aspetti fondamentali che devono essere prioritariamente affrontati: quali sono gli interessi individuali e collettivi in gioco e quali sono le parti coinvolte nel processo di valutazione e decisione (siano esse composte da singoli o da molti decisori, ma anche dall'insieme degli stakeholder, appartenenti al contesto organizzativo ed istituzionale di riferimento).

Naturalmente, vista l'esistenza di un numero elevato di possibili stakeholder che subiscono gli effetti generati dalle innovazioni tecnologiche, è necessario rispondere a queste domande e chiarire adeguatamente (attraverso indagini statistiche, ricerche, ecc...) i valori rappresentativi degli interessi di parte, in modo da:

- poter selezionare opportuni criteri generali di valutazione degli effetti (visto che influenzano tutto il processo successivo);
- favorire la comprensione reciproca delle rispettive motivazioni fra i gruppi di stakeholder;
- supportare il raggiungimento di risultati, anche per mezzo di compensazioni mutuamente accettabili per tutti gli interessati.

La partecipazione rappresenta una buona forma di garanzia per la qualità delle valutazioni effettuate, per la loro accettazione e per l'assunzione delle successive decisioni. Altrimenti la professionalità tecnica degli analisti rischia di fornire risultati virtuali e di non consentire una valida implementazione delle alternative valutate. Naturalmente, rispetto alla sequenza di fasi che caratterizzano un intero processo di valutazione, prima si generano meccanismi di coinvolgimento e prima si ottiene una visione realistica rispetto alle opzioni possibili, ma con un consumo molto alto di risorse. Normalmente, la partecipazione agli ultimi stati comporta un uso più efficiente delle risorse, ma con il rischio di dover tornare indietro nel processo valutativo (ciò comporta costi più alti e gravi ritardi nella realizzazione). Infatti, anche se il maggior coinvolgimento può creare delle conflittualità all'interno del processo di valutazione, queste possono favorire delle mediazioni che hanno tempi e costi minori rispetto ai possibili scenari che generalmente si verificano quando si

presentano pubblicamente processi di innovazione e di investimento già valutati, selezionati ed in via di realizzazione (si pensi alle manifestazioni di protesta per l'introduzione della TAV nelle zone Nord-Orientali dell'Italia). Le mediazioni possono essere portate avanti grazie alla presenza di terze parti, la cui autorità sia riconosciuta, in modo da generare piani di sviluppo accettabili, discussi, negoziati e concordati.

Le forme di partecipazione dipendono dalla necessità di informare tutti gli stakeholder (o per lo meno i gruppi rappresentativi dei soggetti più interessati) e di creare una collaborazione ed una cooperazione tra questi ed i decisori, nonché dal tempo, dalle risorse disponibili e dal necessario coinvolgimento di nuove entità interessate in processi di valutazione continuativi (ad esempio, nelle commissioni governative).

## **I CRITERI**

I criteri comunemente adottati per la valutazione degli effetti delle innovazioni tecnologiche sono:

- l'utilità, il più importante beneficio sociale netto;
- l'equità, ovvero il grado di imparzialità con la quale i benefici sociali sono distribuiti fra gli stakeholder, anche in relazione alla distribuzione dei costi (un tecnologia A potrebbe aver un miglior rapporto costo/benefici, ma una tecnologia B potrebbe essergli preferita poiché distribuisce meno benefici ma più equamente);
- la trascendenza, i valori spirituali ed immateriali propri dei soggetti interessati (nell'antichità si investiva molto in arte ed architettura pubblica, oggi nell'esplorazione dello spazio che ha un valore trascendente enorme per l'umanità, anche se una bassa utilità per i poveri);
- il rispetto, un altro valore immateriale legato alla sacralità di certi idee (la necessità di rispettare alcuni ecosistemi naturali impedisce la costruzione di autostrade utili alla collettività).

Considerato che non tutti i valori attribuibili agli stakeholder sono misurabili oppure quantificabili nella stessa unità di misura, molto spesso è impossibile predisporre una funzione condivisa di utilità sociale - con la quale viene espresso il peso dei criteri rispetto alle decisioni da assumere - che riesca a tener conto di tutte le differenti preferenze degli individui interessati. Per questa ragione, in molti casi, è necessario costruire una rappresentazione multi-dimensionale, ovvero si utilizzano più funzioni di utilità rappresentative di insiemi di criteri decisionali multipli relativi allo stesso comune obiettivo (un azienda che vuole disegnare un nuovo PC potrebbe voler scegliere in base alla contemporanea possibilità di abbattere i costi ed alzare le performance).

Questo processo genera spesso un grande numero di potenziali criteri di valutazione delle performance (ovvero degli effetti): è necessario però focalizzare l'attenzione su un insieme ridotto di criteri decisionali aventi un peso maggiore (criteri chiave). Ciò può essere attuato attraverso l'Analytic Hierarchy Process.

Nei casi tecnici, in cui non sono coinvolti valori immateriali, è possibile effettuare una analisi dei fabbisogni utile per stabilire i criteri di selezione delle tecnologie rispetto alle performance, verificando le esigenze reali degli stakeholder ed integrandole con le informazioni relative alle risorse ed al tempo disponibili, nonché alle possibilità di sviluppo tecnologico.

Hammond e Adelman, 1976, hanno ideato una tecnica di policy capture per identificare e comprendere i valori ed i criteri dei vari stakeholder. Per esempio, nel caso in cui le discariche di rifiuti siano piene, potrebbero essere presentate delle proposte alternative di introduzione di nuovi impianti tecnologici (comprensivi di terreno, inceneritore e sistemi di riciclaggio), verificando come i costi di costruzione (*C*) degli stessi potrebbero controbilanciare gli effetti ambientali (*E*) da essi generati rispetto ad alcuni possibili scenari. Gli stakeholder A e B vengono coinvolti per partecipare ad un

esperimento di policy capture, dando una preferenza (da *1* a *100*) per ogni scenario (Tab. 6.c). Quindi, attraverso una regressione multipla, possono essere calcolati i pesi che gli stakeholder hanno dato implicitamente a *C* ed *E*.

| Scenario | Livelli  |          | Preferenze degli Stakeholder A | Preferenze degli Stakeholder B |
|----------|----------|----------|--------------------------------|--------------------------------|
|          | <i>C</i> | <i>E</i> |                                |                                |
| 1        | 30       | 51       | 99                             | 10                             |
| 2        | 94       | 72       | 5                              | 40                             |
| 3        | 78       | 87       | 40                             | 90                             |
| 4        | 60       | 75       | 35                             | 60                             |
| 5        | 12       | 23       | 70                             | 20                             |

Tab. 6.c

La funzione di preferenza degli stakeholder A risulta  $77,5 - 1,5C + 0,9E$ , mentre la funzione di preferenza degli stakeholder B risulta  $-23,7 - 0,2C + 1,3E$ . Il primo gruppo preferisce le alternative meno costose (il coefficiente maggiore è *C*, che è negativo), mentre il gruppo B pone l'accento maggiormente sulla protezione dell'ambiente. Questa semplice tecnica, presenta problemi relativamente alla scelta dei fattori da considerare, alla sensibilità dei dati, alla tempistica nella raccolta delle informazioni dagli stakeholder, al campione selezionato e alla presenza di non linearità.



## **LE ALTERNATIVE E LE LORO MISURE**

Il processo di assegnazione di un valore alle differenti alternative di innovazione tecnologica è molto delicato, vista la naturale esistenza di interessi conflittuali tra le parti che genera disaccordo rispetto ai criteri per valutarle. Anche la scelta dell'insieme di alternative da valutare è una decisione politica, fondamentale per le fasi successive.

Per evitare di operare su un troppo vasto insieme di alternative e creare confusione nel lavoro di valutazione, sono state determinate alcune regole tecniche:

- escludere le alternative di valore chiaramente inferiore;
- eliminare quelle che non presentano fattibilità tecnica ed economica;
- stabilire, a priori, uno standard minimo perché siano prese in considerazione;
- cercare di configurarle in modo che siano comparabili;
- provare ad ottenere un simile livello di informazioni disponibili su ogni alternativa.

Tra le caratteristiche più rilevanti delle singole alternative possono essere distinte quelle relative a:

- alternative discrete o continue;
- alternative simultanee o sequenziali (le scelte temporalmente differite rendono più complesse le valutazioni);
- alternative mutuamente escludenti o non esclusive;
- alternative statiche o dinamiche (nelle quali si tiene conto delle variazioni del processo e/o dei criteri rispetto al tempo).

Definiti gli appositi criteri e selezionato l'insieme delle alternative, il processo di valutazione prosegue con la determinazione delle misure rispetto ai criteri prioritariamente definiti.

Le unità rispetto alle quali sono misurate le variabili devono essere adeguate al contesto decisionale: le tipologie delle misure differiscono nei casi in cui sono presenti più variabili (le unità potrebbero essere in €, litri, potenza, ecc...).

I sistemi di misurazione possono essere:

- nominali (quando viene data un'etichetta ad un'alternativa);
- ordinali (con una classificazione qualitativa di alternative confrontate fra loro, senza un definito intervallo numerico di riferimento);
- di intervalli (quando gli intervalli tra le entità sono ben ordinati e chiaramente definiti a livello numerico);
- di rapporto (sono misure di intervalli con un punto zero ben definito).

I primi due sistemi sono utili quando si hanno a disposizione esclusivamente misure soggettive, mentre gli ultimi due sono quelli che garantiscono risultati migliori. Per rendere statisticamente manipolabili le misure nominali, queste possono essere convertite in un insieme di variabili binomiali, mentre per le misure ordinali si associa alla classificazione un correlato ordinamento numerico.

I due più importanti metodi per creare una scala ordinata di alternative sono:

- il rating, ovvero la comparazione delle stesse rispetto ad uno standard predeterminato;
- il ranking, che fornisce le posizioni relative all'interno di un insieme di alternative.

Il range della scala del rating viene determinato caso per caso e può essere binomiale ( $0$  oppure  $1$ ), ad elementi discreti (da  $1$  a  $5$ ) o continui (da  $1,000$  a  $10,000$ ), nonché basato su dati quantitativi con misurazioni probabilistiche o giudizi qualitativi. Il ranking può essere effettuato attraverso un semplice modello basato sulla richiesta del giudizio individuale (ovvero domandando se un'alternativa è migliore di un'altra) oppure attraverso l'uso dell'Analytic Hierarchy Process per comparare differenti alternative di sviluppo tecnologico.

## **IL METODO DEGLI OBIETTIVI MULTIPLI**

Prima di procedere con la fase di valutazione e scelta fra i differenti progetti alternativi di innovazione tecnologica, è necessario utilizzare il metodo degli obiettivi multipli che consente:

- da un lato, di chiarire il valore delle preferenze attribuite dai decisori alle singole opinioni e, quindi, di identificare e selezionare le alternative non dominate (nel senso di Pareto-ottimale), escludendo, quindi, quelle di valore chiaramente inferiore,
- dall'altro di strutturare formalmente il sistema delle preferenze dei decisori e degli stakeholder, attribuendo un valore soggettivo rispetto alle diverse opzioni di scelta connesse al grado di perseguimento di obiettivi dati.

In effetti, questo metodo è utile per operare in un contesto complesso in cui molti decisori con interessi contrastanti fra loro, applicando molti e differenti criteri (conflittuali e non commisurabili), devono effettuare la valutazione fra molte alternative di sviluppo tecnologico in termini di benefici per i vari stakeholder.

In quest'ottica, vengono adottati modelli comportamentali del tipo ad "utilità casuale", che si basano su una serie di ipotesi sulle possibili scelte degli individui. In tali modelli si assume un approccio stocastico e sotto l'ipotesi che i decisori siano razionali (ovvero dei "massimizzatori di utilità in accordo alle proprie preferenze") e che, per una serie di cause di diverso tipo, non sia

possibile prevedere con certezza la scelta che essi effettueranno ma soltanto calcolare le probabilità che essi facciano una determinata scelta che massimizza l'utilità complessiva degli stessi decisori.

Più in particolare, i modelli di utilità casuale si basano sulle seguenti ipotesi:

- Il generico utente  $i$  considera nell'effettuare la scelta tutte le alternative disponibili che costituiscono il suo insieme di scelta  $I_i$ . L'insieme di scelta può variare per utenti diversi.
- L'utente  $i$  associa a ciascuna alternativa  $j$  del suo insieme di scelta una utilità o "attrattività percepita"  $U_{ji}$  e sceglie l'alternativa che massimizza l'utilità. L'utilità di ciascuna alternativa dipende dai valori che alcune variabili, o attributi, assumono per tale alternativa:  $U_{ji} = U_{ji}(X_{ji})$  dove  $X_{ji}$  è il vettore degli attributi dell'alternativa  $j$  per l' $i$ -esimo utente.
- L'utilità associata dal generico utente  $i$  all'alternativa  $j$  è una variabile aleatoria in quanto essa non è nota con certezza all'osservatore esterno (analista modellizzatore) sia per i limiti dell'analista stesso che per le caratteristiche proprie del meccanismo di scelta dell'utente. Il risultato degli esperimenti è una variabile aleatoria. Infine, a parità di tutte le condizioni, lo stesso può percepire in modo diverso l'utilità delle alternative in momenti diversi (errore nelle valutazioni degli attributi).

In definitiva, si assume che l'utente non scelga un'alternativa "per sé", ma piuttosto scelga l'insieme delle caratteristiche (o attributi) propri di quella alternativa confrontandole con quelle delle altre alternative disponibili. Sulla base delle ipotesi fatte non è possibile prevedere con certezza quale alternativa sceglierà il generico utente  $i$ ; è invece possibile calcolare la probabilità che egli scelga l'alternativa  $j$  come  $p^i(j) = \text{Pr ob}(U_j^i > U_k^i) \quad \forall k \neq j \text{ e } k \in I$ . Chiaramente minore sarà la varianza, migliore sarà la capacità revisionale del modello.

Ad esempio, un caso al quale è possibile applicare questo metodo è quello in cui si tratta di effettuare la selezione di un nuovo modello di autovettura (White, 1988): è un problema che riguarda i consumatori prima di effettuare un acquisto, i produttori prima di avviare la produzione di nuove automobili e le pubbliche amministrazioni che stabiliscono alcune regole standard per rispondere a certe esigenze specifiche della collettività.

Ogni modello di autovettura considerato comprende un insieme di alternative, caratterizzate in base ad un certo range di vari attributi (misura, peso, configurazione strutturale, consumi, stile, performance, parametri di sicurezza, ecc...), che sono valutate rispetto a differenti criteri.

Si pensi ai miglioramenti nella sicurezza ed ai costi collegati che sono generalmente criteri conflittuali, perché i primi generano un incremento indesiderabile dei secondi, e che non sono commisurabili poiché la salute non è monetizzabile in modo univoco.

Si considerino i sei modelli alternativi di autovetture indicati nella presente tabella (Tab. 6.d), rispetto ai soli criteri del valore della sicurezza (scala da **1** a **10**, con **1** il più sicuro) e dei costi annualizzati (che includono il valore medio dell'operatività e della manutenzione, nonché la quota del costo di ammortamento), con l'obiettivo di selezionare la migliore autovettura in termini di combinazione del rapporto tra sicurezza e costi.

| Modello | Valore della Sicurezza (Adimensionale) | Costi annualizzati (€) |
|---------|--|------------------------|
| A       | 4                                      | 5.000                  |
| B       | 3                                      | 4.700                  |
| C       | 5                                      | 3.500                  |
| D       | 8                                      | 2.400                  |
| E       | 9                                      | 3.100                  |
| F       | 7                                      | 4.200                  |

Tab. 6.d

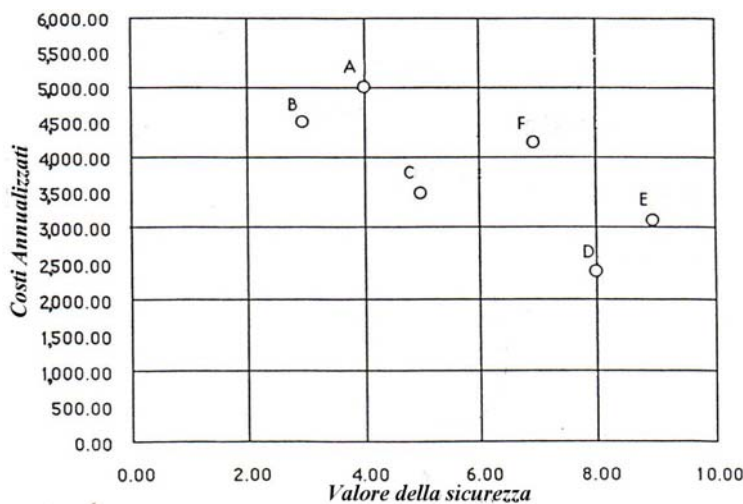


Fig. 6.3 LE ALTERNATIVE NELLO SPAZIO DELLE SOLUZIONE PER IL PROBLEMA DEI MODELLI DI AUTOVETTURE

Prima di tutto è necessario valutare la dominanza relativa fra le alternative. Come si evince dal grafico dello spazio delle soluzioni (Fig. 6.3), il modello B è preferibile al modello F in termini di sicurezza, mentre è il contrario in termini di costi. Invece, il modello C è preferibile al modello F rispetto ad entrambi i criteri, quindi C domina F e questo potrà essere tagliato. Allo stesso modo B domina A e D

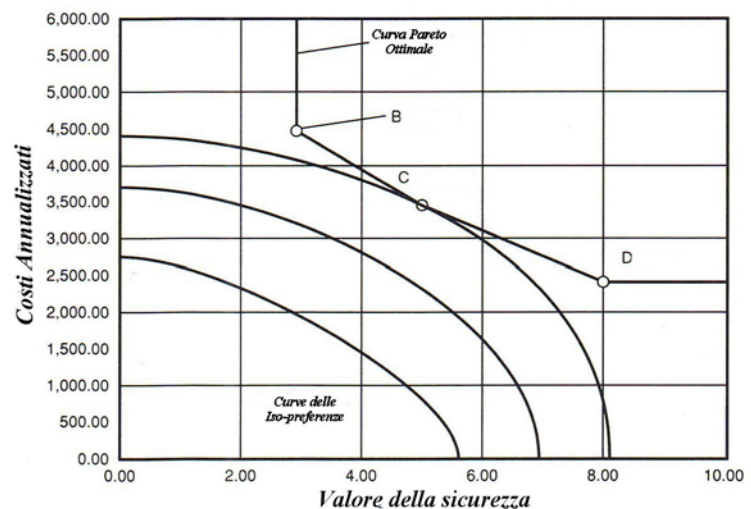


Fig. 6.4 CURVA "PARETO OTTIMALE" E CURVE DELLE ISO-PREFERENZE NELLO SPAZIO DELLE SOLUZIONI

domina E. Quindi, i modelli alternativi B, C e D sono detti non dominati (nessun'altra alternativa è uguale o superiore rispetto ai criteri considerati) e solamente fra questi si deve operare la successiva scelta (*Fig. 6.4*).

L'insieme delle possibili alternative non dominate sono immaginate come punti discreti della curva "Pareto ottimale" nello spazio delle soluzioni (è anche detta curva delle trasformazioni o frontiera dell'efficienza). È, dunque, necessario stabilire un meccanismo per stimare il valore delle preferenze espresse, per valutare le alternative rispetto al bilanciamento del rapporto tra i criteri (sicurezza e costi), nonché per ordinarle rispetto alla curva "Pareto ottimale". Nello spazio delle soluzioni vengono introdotte le cosiddette curve delle iso-preferenze: la proprietà di queste curve è che ogni coppia di punti appartenente alla stessa curva possiede lo stesso valore di utilità. Dunque, l'alternativa preferita è quella che presenta il più alto valore dell'utilità ed è collocata nel punto in cui la curva "Pareto ottimale" è tangente alla più alta curva di iso-preferenza. Per l'esempio considerato, questo avviene per l'alternativa C.

Le curve di iso-preferenza variano in base al decisore e al proprio concetto di utilità: differenti decisori potrebbero avere lo stesso ordine di preferenza rispetto ai criteri, ma potrebbero contemporaneamente avere differenti curve di iso-preferenza. Nell'esempio, i consumatori, i produttori e gli amministratori pubblici concordano sulla necessità di investire per la produzione di modelli che presentano maggior sicurezza e minori costi, ma sono in disaccordo nella valutazione rispetto al bilanciamento del rapporto tra i criteri (sicurezza e costi).

Tra le molte tecniche sviluppate per supportare l'analisi degli obiettivi multipli, è possibile applicare il metodo vincolato, nel quale non viene fatto alcun tentativo per incorporare le preferenze. Questo è essenziale se non può essere identificato un singolo decisore per il problema.

Il primo obiettivo viene ottimizzato mentre tutti gli altri sono vincolati ad uno specifico valore, generando così un punto sulla frontiera delle soluzioni non dominate. Quindi, i valori vincolati vengono modificati e l'ottimizzazione viene ripetuta, generando un secondo punto sulla frontiera delle soluzioni non dominate. Questo processo viene ripetuto, un punto alla volta, sino a quando non viene generato l'intero insieme delle soluzioni non dominate. In sostanza, si tende a ridurre l'insieme di tutte le alternative, possibili ed impossibili, alle soluzioni "Pareto ottimali" precedentemente illustrate.

In particolare, adottando il metodo vincolato ad un problema decisionale caratterizzato da due soli obiettivi, questo può essere formalmente espresso come

$$\min_{a \in A} [f_1(a), f_2(a)]$$

dove  $a$  è una singola alternativa appartenente all'insieme delle alternative  $A$ ,  $f_1(a)$  e  $f_2(a)$  rappresentano le funzioni obiettivo rispettivamente per il primo e per il secondo obiettivo perseguito. Rispetto all'esempio considerato, l'insieme delle alternative  $A$  è composto dai sei modelli alternativi di autovetture, la prima funzione obiettivo (sicurezza) è definita dalla combinazione dei dati presenti nella precedente tabella tra il modello ed il valore della sicurezza, mentre la seconda funzione obiettivo (costi) è definita dalla combinazione dei dati tra il modello ed i costi annuali.

Si effettua, quindi, ripetutamente, la risoluzione del seguente problema

$$\min_{a \in A} [f_1(a)]$$

soggetto a

$$f_2(a) \leq K(i)$$

con differenti valori di  $K(i)$  per ogni iterazione  $i$ .

Si attiva un procedimento sistematico di ottimizzazione scalare del problema. Alla prima iterazione si sceglie un valore altissimo di  $K(1) = \infty$  per rilassare il vincolo su  $f_2(a)$ : la soluzione  $a_{opt}(1) = B$  afferma che l'alternativa B è la più sicura indipendentemente dai costi.

| Iterazione $i$ | $K(i)$   | $a_{opt}(i)$          | $f_1(a_{opt}(i))$ | $f_2(a_{opt}(i))$ |
|----------------|----------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| 1              | $\infty$ | B                     | 3                 | 4.700 €           |
| 2              | 4.699 €  | C                     | 5                 | 3.500 €           |
| 3              | 3.499 €  | D                     | 8                 | 2.400 €           |
| 4              | 2.399 €  | Nulla<br>Realizzabile |                   |                   |

Nella successiva iterazione, si ha

$$K(2) = f_2(a_{opt}(1)) - 1 = f_2(B) - 1 = 4.699€$$

Il risultato del procedimento è che B (come le altre più costose alternative, tipo A) risulta irrealizzabile.

## **L'ANALYTIC HIERARCHY PROCESS**

In ultimo, ai fini dell'attività di ricerca, per la fase di valutazione e scelta fra differenti progetti alternativi di innovazione tecnologica, è stata adottata la tecnica Analytic Hierarchy Process (AHP), che rappresenta uno strumento robusto per raccogliere ed analizzare le preferenze umane, ideato per rispondere alla necessità di sistematizzare le modalità per esprimere giudizi complessi e di risolvere problemi non strutturati (Saaty e Kearns, 1985; Saaty 1990; Tavana e Banerjee, 1995). In particolare, la tecnica AHP può essere utilizzata per determinare il rapporto costi/benefici di un progetto quando non è possibile valutare in termini esclusivamente monetari i vantaggi e gli svantaggi che deriverebbero dalla sua realizzazione.

Attraverso questa tecnica è possibile aiutare i manager:

- a valutare gli effetti di una o più innovazioni tecnologiche;
- a scegliere le priorità fra diversi progetti di investimento in R & S;
- a selezionare tra modalità alternative di progettazione, produzione e marketing nell'ambito di un progetto di sviluppo.

La tecnica si compone di quattro fasi sequenziali che si esplicano attraverso la costruzione di una struttura gerarchica ad albero, l'applicazione di un metodo di comparazione a coppie, la sintesi di queste per arrivare ad una comparazione complessiva e la verifica finale che i giudizi così combinati siano ragionevolmente coerenti l'uno con l'altro.

La prima fase della tecnica AHP è caratterizzata dalla costruzione di una struttura gerarchica della dominanza, così delineata:

- l'obiettivo generale dichiarato (o *goal*) è collocato al punto più elevato dell'albero decisionale e può essere suddiviso in sotto-obiettivi che ne specificano contenuti e significati;
- vengono rivelate le assunzioni ed i pregiudizi iniziali presenti nella definizione del problema;
- sono identificate le parti interessate che devono essere coinvolte nello stesso processo.

L'obiettivo dichiarato è suddiviso in un certo numero di criteri (ad esempio, A, B e C), ovvero in



Fig. 6.5 STRUTTURA DELL'ALBERO AHP

quei fattori che costituiscono il secondo livello dell'albero decisionale (dei quali va determinata l'importanza relativa dell'uno rispetto all'altro tramite l'AHP e che possono essere suddivisi in sottocriteri). Quindi, al livello più basso dello stesso albero vengono considerate una serie di  $n = 5$  alternative (ad esempio,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  ed  $\varepsilon$ ), che influenzano i tre criteri rispetto ai quali si deve

determinare il sistema delle priorità globali (Fig. 6.5). È necessario verificare che ogni livello sia completo e coerente al proprio interno e che le interrelazioni fra i livelli siano sufficientemente chiare e comprensibili.

Una volta definita la gerarchia del processo decisionale, è possibile passare alla seconda fase della tecnica AHP, ovvero alla espressione dei giudizi attraverso un metodo di comparazione a coppie che copre l'intero insieme delle alternative rispetto ad ogni elemento nel livello immediatamente precedente (ovvero i criteri). Le opinioni degli esperti vengono raccolte adottando i metodi precedentemente descritti nell'ambito degli strumenti utili per generare le previsioni.

| Importanza | Definizione          | Spiegazione   |
|------------|----------------------|---|
| 1          | Uguale importanza    | Le alternative contribuiscono identicamente all'obiettivo   |
| 3          | Dominanza debole     | L'esperienza ed il giudizio favorisce leggermente un'alternativa rispetto all'altra                         |
| 5          | Dominanza forte      | L'esperienza ed il giudizio favorisce fortemente un'alternativa rispetto all'altra                          |
| 7          | Dominanza dimostrata | La dominanza di un'alternativa sull'altra è dimostrata nella pratica  |
| 9          | Dominanza assoluta   | L'evidenza favorisce un'alternativa rispetto all'altra ed è dichiarata al livello più alto dell'ordinamento |

SCALA SEMANTICA DI SAATY D'IMPORTANZA RELATIVA – I VALORI INTERMEDI DELL'IMPORTANZA 2, 4, 6, 8 RISPESCHIANO IL COMPROMESSO TRA DUE GIUDIZI



Le alternative sono, così, classificate rispetto al giudizio umano degli esperti e, ogni singola alternativa successivamente, è comparata con un'altra, poi con un'altra ancora, una successiva, ecc... formalizzando così un posizionamento reciproco in base alla scala semantica di Saaty. Il risultato del confronto è il coefficiente di dominanza  $a_{ij}$  che rappresenta una stima della dominanza dell'alternativa  $i$  rispetto all'alternativa  $j$ , che viene effettuata dagli esperti.

La terza fase della tecnica AHP è la collezione e la sintesi degli  $n(n-1)/2$  giudizi che devono essere inseriti all'interno delle matrici  $n \times n$  contenenti le alternative definite rispetto ai criteri. In sostanza, gli analisti inseriscono le precedenti valutazioni della dominanza relativa di ogni elemento rispetto all'altro.

Infatti, confrontando a coppie  $n$  elementi si ottengono  $n^2$  coefficienti, generando una matrice quadrata  $n \times n$  reciproca e positiva detta matrice dei confronti a coppie (con  $a_{ii} = 1$  e  $a_{ji} = 1/a_{ij}$  per ogni valore di  $i$  e di  $j$ ). Quest'ultima condizione, nota come relazione di reciprocità, scaturisce dalla necessità di garantire la simmetria dei giudizi di importanza ed avviene attraverso l'inserimento del numero frazionario reciproco nella cella opposta della matrice. In sostanza, se A domina B si inserisce l'appropriato numero intero della tabella precedente nella cella della riga A e colonna B, mentre se B domina A si inserisce il numero intero nella cella della riga B e colonna A (ad esempio, se un elemento A è giudicato relativamente dominante rispetto all'elemento B con stima di dominanza pari a 7, il complementare giudizio di B rispetto ad A assumerà il valore reciproco con stima di dominanza pari a  $1/7$ ).

Ad esempio, fra le tre matrici  $5 \times 5$  richieste per comparare il singolo criterio con le 5 alternative, quella relativa al criterio A potrebbe assumere i seguenti valori:

| Alternativa |            | Matrice delle preferenze rispetto al Criterio A:<br>giudizi degli elementi nelle righe rispetto a quelli nelle colonne |       |       |     |       | Priorità<br>Normalizzate |
|-------------|------------|--|-------|-------|-----|-------|--------------------------|
| N°          | Nome       | 1  | 2     | 3     | 4   | 5     |                          |
| 1           | $\alpha$   | 1,0  | 0,5   | 3,0   | 5,0 | 0,2   | 0,165                    |
| 2           | $\beta$    | 2,0  | 1,0   | 3,0   | 3,0 | 0,333 | 0,241                    |
| 3           | $\gamma$   | 0,333  | 0,333 | 1,0   | 3,0 | 0,333 | 0,098                    |
| 4           | $\delta$   | 0,2  | 0,2   | 0,333 | 1,0 | 0,2   | 0,046                    |
| 5           | $\epsilon$ | 5,0  | 3,0   | 3,0   | 5,0 | 1,0   | 0,449                    |

Nella matrice, i giudizi sono stati inseriti in modo reciproco: se la quinta alternativa è preferita alla seconda con un giudizio pari a  $3$ , nella cella relativa della seconda rispetto alla quinta è stato inserito un giudizio pari ad  $1/3$ .

Per effettuare una sintesi dei giudizi espressi e determinare il vettore delle priorità normalizzate  $w'$  (i cui componenti sono i pesi  $w_i$  relativi di ogni criterio – o sottocriterio - che misurano l'importanza relativa dei singoli elementi e che sommati danno come risultato  $I$ ), si richiede:

- il calcolo degli autovettori di ogni matrice, che sono poi normalizzati all'unità;
- oppure, approssimando, di normalizzare gli elementi di ogni colonna (sommandoli e dividendoli per la loro somma) e poi di fare la media di ogni riga di questi elementi normalizzati per stimare il vettore delle priorità normalizzate  $w'$ ;
- oppure, approssimando, di calcolare la media geometrica degli elementi presenti in ogni riga, di normalizzarli, e quindi di fare la media di ogni riga per stimare il vettore delle priorità normalizzate  $w'$ .

Utilizzando quest'ultimo procedimento, per la prima alternativa, si calcola la media geometrica degli elementi presenti nella prima riga, ovvero

$$\sqrt[5]{1 \times 0,5 \times 3 \times 5 \times 0,2} = 1,084$$

che, per determinare la priorità normalizzata, deve essere divisa per la somma delle medie geometriche  $1,084 / (1,084 + 1,585 + 0,644 + 0,305 + 2,954) = 0,165$ . Lo stesso procedimento deve essere eseguito rispetto ai criteri B e C.

Successivamente, risalendo di un livello nella gerarchia, si dovrà determinare l'importanza relativa dei criteri fra loro, costruendo la matrice  $3 \times 3$  del confronto reciproco tra i criteri A, B e C (la quale presenta tutti 1 sulla diagonale, poiché rappresentano il confronto del singolo criterio con se stesso) e scegliendo in modo opportuno i pesi relativi da assegnare agli stessi. Per effettuare questa operazione, si opera trasversalmente alle matrici per definire le priorità globali, condensando l'insieme dei giudizi separati in un giudizio complessivo opportunamente pesato.

Si supponga che, per semplicità, nell'esempio considerato, i vettori delle priorità normalizzate assumano i valori presenti nella seguente tabella (Tab. 6.e):

|               | Priorità Normalizzate rispetto al Criterio A | Priorità Normalizzate rispetto al Criterio B | Priorità Normalizzate rispetto al Criterio C |
|---------------|--|--|--|
| $\alpha$      | 0,165  | 0,3  | 0,2  |
| $\beta$       | 0,241  | 0,1  | 0,2  |
| $\gamma$      | 0,098  | 0,3  | 0,2  |
| $\delta$      | 0,046  | 0,1  | 0,2  |
| $\varepsilon$ | 0,449  | 0,2  | 0,2  |

Tab. 6.e

Inoltre, si immagini che i pesi determinati per i criteri A, B e C siano rispettivamente **0,5**, **0,2** e **0,3** (la cui somma deve essere **1**).

Quindi, le priorità globali, utili nei processi di scelta, potranno essere calcolate attraverso un modello lineare additivo pesato con la moltiplicazione delle priorità locali per i pesi dei singoli criteri, ovvero

$$\begin{array}{rclclcl}
 \alpha & 0,165(0,5) & + & 0,3(0,2) & + & 0,2(0,3) & = & 0,2025 \\
 \beta & 0,241(0,5) & + & 0,1(0,2) & + & 0,2(0,3) & = & 0,2005 \\
 \gamma & 0,098(0,5) & + & 0,3(0,2) & + & 0,2(0,3) & = & 0,1675 \\
 \delta & 0,046(0,5) & + & 0,1(0,2) & + & 0,2(0,3) & = & 0,103 \\
 \varepsilon & 0,449(0,5) & + & 0,2(0,2) & + & 0,2(0,3) & = & 0,3245 \\
 & & & & & & & \text{-----} \\
 & & & & & & & 1,0000
 \end{array}$$

Si evidenzia che questo modello semplifica l'eventuale analisi di sensibilità (ovvero uno stakeholder potrebbe voler modificare il peso del criterio A in **0,4** generando una variazione nelle priorità globali).

La quarta fase della tecnica AHP è il calcolo del rapporto di coerenza di ogni matrice, per stabilire se i pesi  $w_i$  rispecchiano i giudizi  $a_{ij}$  degli esperti che hanno effettuato i confronti. Questo utile indicatore che segnala la ragionevole coerenza dei giudizi degli esperti presenti nelle singole matrici è così determinato:

$$\text{Rapporto di coerenza} = \frac{\text{Indice di coerenza}}{\text{Numero casuale di coerenza}}$$

che, formalmente, scaturisce dalla risoluzione della matrice

$$A' w' = \lambda_{max} w'$$

ovvero

$$\sum_j a_{ij} w_j = \lambda_{max} w_i$$

dove  $A' = (a_{ij})$  e  $\lambda_{max}$  è l'autovalore principale della matrice dei giudizi  $A$  (ovvero  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  sono gli autovalori e sono tutti nulli quando la matrice  $A$  è coerente, tranne uno  $\lambda_{max}$  che vale  $n$ , rendendo l'equazione un'identità). Il calcolo è approssimabile sommando la colonna  $i$ -esima della matrice dei giudizi e moltiplicandola per l'elemento  $i$ -esimo del vettore delle priorità normalizzato (ovvero  $w_i$ ), quindi sommando i risultati per ottenere  $\lambda_{max}$ .

Rispetto all'esempio considerato, per il caso della comparazione delle cinque alternative rispetto al criterio A si ottiene

$$\lambda_{max} = 8,533 \times 0,165 + 5,033 \times 0,241 + 10,333 \times 0,098 + 19 \times 0,046 + 2,066 \times 0,449 = 5,420$$

L'indice di coerenza  $CI$  è, quindi, calcolato come

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

dove  $n$  è il numero di elementi che sono stati comparati. Per l'esempio, si ottiene

$$\frac{(5,420 - 5)}{5 - 1} = 0,105$$

Il numero casuale di coerenza indica un valore atteso. In caso di coerenza perfetta  $CI$  è uguale a  $0$  (ovvero la matrice è perfettamente coerente e l'autovalore principale  $\lambda_{max}$  è uguale ad  $n$ ). Al crescere dell'inconsistenza il suo valore aumenta. Se i giudizi sono presi a caso nella scala fra  $1/9$  e  $9$ ,  $CI$  varia in funzione della misura dell'insieme di elementi:

|                            |   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Misura della matrice       | 2 | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| Numero casuale di coerenza | 0 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

Quindi, per l'esempio considerato si ottiene:

$$\text{Rapporto di coerenza} = \frac{\text{Indice di coerenza}}{\text{Numero casuale di coerenza}} = \frac{0,105}{1,12} = 0,094$$

Il rapporto di coerenza delle singole matrici dovrebbe attestarsi di norma sotto al **10%** (nell'esempio considerato si ha  $0,094 < 0,1$ ), ma potrebbe essere talvolta tollerato fino al **20%**, altrimenti la deviazione dalla condizione di coerenza perfetta sarebbe considerata inaccettabile e i giudizi degli esperti sarebbero considerati dotati di scarsa coerenza. Lo stesso procedimento dovrà essere eseguito rispetto ai criteri B e C. Se il rapporto di coerenza è insoddisfacente, è necessario raccogliere nuovamente i giudizi.

È necessario ripetere il processo dalla fase 2 alla fase 4 per ogni livello della struttura gerarchica per ottenere tutti i pesi relativi, che sono dette priorità locali perché valutano l'importanza delle alternative non in termini complessivi, ma solo in rapporto al criterio rispetto al quale sono stati confrontate.

Questa fase è necessaria poiché l'insieme dei giudizi ottenuti con la comparazione a coppie è soggetto a possibile incoerenze, le quali riflettono un meccanismo ordinamentale che è sommario ed è caratterizzato dalle incertezze delle valutazioni soggettive (come, ad esempio, A sembra leggermente meglio di B, B sembra leggermente meglio di C, C sembra assai migliore di A). Se tutti i giudizi sono coerenti, le stime possono essere considerate valide. Altrimenti, i giudizi devono essere considerati soggettivi ed i calcoli matematici non li potranno mai rendere precisi.

Quindi, per determinare l'importanza di ogni elemento in rapporto al *goal* occorre applicare il principio di composizione gerarchica di Saaty, verificando la coerenza della struttura. Le priorità (o pesi) locali di ogni alternativa vengono moltiplicate per quelle dei corrispondenti criteri ed i prodotti così ottenuti sono sommati. Procedendo dall'alto verso il basso, le priorità locali di tutti gli elementi della gerarchia vengono così trasformate progressivamente in priorità globali.

Le priorità globali degli elementi collocati alla base della gerarchia, nel livello successivo a quello degli obiettivi terminali, rappresentano il risultato principale della valutazione, poiché consentono di determinare un ordine di preferenza tra i progetti alternativi che risulteranno tanto più preferibili quanto maggiore sarà il loro peso globale.

A questo punto, si calcola il rapporto di coerenza generale. Se questo risulta troppo elevato, si devono raccogliere nuovamente i giudizi (ad esempio, riformulando le domande o ricategorizzando gli elementi).

Se le priorità locali sono importanti per adottare le scelte successive, anche queste devono essere tenute in considerazione da parte dei decisori, per comprendere quali componenti hanno un peso relativo maggiore e per facilitare l'analisi di sensibilità rispetto ad eventuali cambiamenti nelle alternative o nei pesi relativi dei criteri.

Naturalmente, come per gli altri strumenti sinora analizzati, anche per la tecnica AHP vi sono delle criticità da tenere in conto, quali l'esistenza di interdipendenza tra i criteri ed il rischio della variazione dei giudizi considerati in ragione del passare del tempo.

### **L'ANALISI DEGLI SCENARI APPLICATA AI RISULTATI DELL'AHP**

Giunti a questo punto, dopo aver ottenuto i risultati della tecnica Analytic Hierarchy Process, devono essere effettuate le scelte fra i differenti progetti alternativi di innovazione tecnologica.

In quest'ottica, è possibile adottare la tecnica dell'analisi degli scenari per agevolare le scelte dei manager delle imprese e dei decisori pubblici, ma anche per comunicare i propri piani ai dirigenti, ai dipendenti, ai finanziatori, agli stockholder ed alla pubblica opinione. Infatti, questa tecnica traccia visivamente i possibili contorni nel futuro degli aspetti considerati rilevanti e degli effetti socio-economici, attraverso un sistema composto di presentazioni multimediali, di testi descrittivi, calcoli matematici e statistici. Vengono, così, integrati in una serie di scenari - chiari, comprensibili e facilmente comunicabili al pubblico - le informazioni quantitative e qualitative che risultano utili per valutare ulteriormente gli impatti di talune scelte strategiche, adottate sotto certe condizioni, producendo delle istantanee degli effetti generati ad un certo tempo e le possibili traiettorie che conducono ad esse.

L'incertezza è caratteristica fondamentale della tecnica e viene espressa come la probabilità che si verifichi un singolo scenario, ovvero attraverso un range di possibili proiezioni future delle "dimensioni" (ovvero dei fattori più importanti) presenti all'interno di un singolo scenario. Le singole proiezioni vengono poi aggregate per creare una proiezione complessiva multi-dimensionale e per generare un range del probabile futuro.

In alcuni casi, è conveniente affiancare all'insieme di possibili scenari individuati dai manager come più probabili o come migliori, anche una proiezione più pessimistica ed una più ottimistica.

### **LA COSTRUZIONE DEGLI SCENARI**

Formalmente, la procedura per costruire uno scenario valido è rappresentata da uno schema strutturale di massima che viene seguito dagli analisti, composto dalla seguente serie di passaggi:

- prima di tutto, è necessario identificare le “dimensioni” topiche che devono essere incorporate negli scenari, determinando quelle più rilevanti rispetto agli obiettivi degli stessi e valutando quelle più adatte a generare una buona proiezione futura;
- poi, devono essere identificati gli utilizzatori degli scenari ed i loro interessi per focalizzare adeguatamente la proiezione e per calibrare il più appropriato stile di presentazione delle informazioni generate;
- viene, quindi, specificato l'arco temporale individuato che, per le previsioni di innovazione tecnologica, è - di norma - relativo ad un massimo di 20 anni;
- si specificano, inoltre, le assunzioni generali sul contesto socio-economico (politiche, economiche, sociali, ambientali, demografiche, ecc...) e le assunzioni specifiche relative al tasso di sviluppo e di diffusione di diverse famiglie di tecnologie (comprende le politiche settoriali, le condizioni di un certo comparto industriale, l'atteggiamento sociale verso un certo prodotto o servizio, lo stato della ricerca, il giudizio popolare su argomenti correlati, ecc...), che vanno tutte stabilite rispetto all'arco temporale individuato, determinate adeguatamente, esaminate e raffinate per evitare di commettere errori nelle proiezioni (con il crescere dell'arco temporale si dovrà porre maggior cura nel formulare le assunzioni di base);
- dunque, si può definire la struttura di ogni singolo scenario evidenziando le dimensioni chiave - rappresentate qualitativamente o quantitativamente -, il loro livello di aggregazione e di dettaglio, le loro interazioni reciproche tra queste e le condizioni al contorno che possono essere o meno comuni per un insieme di scenari (naturalmente, più sono le dimensioni più risulterà complessa l'adozione della tecnica);
- successivamente è necessario determinare il numero complessivo degli scenari e la loro importanza, anche attraverso una procedura che utilizza l'analisi morfologica. Per ogni dimensione qualitativa di uno scenario, è necessario individuare la maggior rilevanza che essa può assumere. Per ogni dimensione quantitativa, si devono scegliere appropriati range

di valori che includono i casi estremi (pessimistico ed ottimistico), quello più probabile ed un insieme di range intermedi. La rilevanza ed il range di valori appropriati di ogni dimensione definiscono la morfologia dello spazio del singolo scenario;

- infine, è necessario identificare gli scenari che sono più significativi per raggiungere gli obiettivi della proiezione. Per la proiezione rispetto ad una singola dimensione quantitativa di norma sono adeguati tre scenari, mentre rispetto ad una singola dimensione qualitativa dipende dalla maggior rilevanza della stessa. Per gli scenari multi-dimensionali sono richieste delle rappresentazioni complesse nelle quali l'insieme dei valori delle varie dimensioni sono considerati come un tutto e le combinazioni più utili fra queste sono selezionate per definire l'insieme finale degli scenari (il giudizio degli individui ha un peso rilevante in questa parte della tecnica). La scelta degli scenari in base alla morfologia richiede il collegamento fra essi e gli obiettivi della proiezione: gli scenari improbabili o ridondanti (ovvero troppo simili) vanno eliminati, anche per semplificare le valutazioni e le scelte; devono poi essere scelti gli scenari che hanno la più alta probabilità che i propri risultati generino i maggiori effetti; quindi, vanno definiti gli scenari che rappresentano le situazioni estreme. Spesso questo insieme di scenari è soddisfacente, poiché fornisce un bagaglio di informazioni e di proiezioni disponibili.

A questo punto, una volta costruita la mascherina che ogni singolo scenario deve seguire per essere comparabile, questa deve essere inserita in ognuno di essi usando il bagaglio di informazioni e di proiezioni disponibili: gli scenari così costruiti devono essere verificati rispetto alla loro utilità per i reali utilizzatori ed alla loro validità. Se soddisfano i criteri stabiliti all'inizio e risultano utili per prendere le decisioni, gli scenari possono essere presentati a tutti i soggetti interessati.



## **CAP. 7 - UN'APPLICAZIONE**

Nell'ambito dello svolgimento della attività di ricerca è stata eseguita un'applicazione dei metodi sperimentali disponibili per l'estrapolazione del trend tecnologico nell'ambito del mercato italiano dell'home video, partendo dai dati disponibili sui volumi delle vendite annuali - espresse in milioni di unità - di film sui supporti VHS e DVD per mostrare l'andamento della diffusione di entrambi e gli effetti della sostituzione del secondo rispetto al primo.

### **IL CONTESTO DI RIFERIMENTO**

Le innovazioni tecnologiche che hanno riguardato negli ultimi trent'anni, a livello globale, il settore specifico dell'home video, sono state man mano introdotte e recepite nel corrispondente mercato italiano.

Nell'estate del 1975, la Sony mise in commercio lo standard di videoregistrazione e videoriproduzione Betamax. In reazione a ciò, la JVC sviluppò e lanciò sul mercato, sul finire del 1976, lo standard VHS (acronimo inglese di Video Home System e contemporaneamente abbreviazione di Vertical Helical Scan, la tecnica utilizzata), con l'utilizzo di alcune tecnologie concesse in licenza dalla stessa Sony. Tra i due standard settoriali dell'home video ci fu una fortissima concorrenza, con un duro scontro che ha visto prevalere la tecnologia introdotta dalla JVC, grazie all'abilità di manager che cercarono alleati tra i produttori e tra le case cinematografiche, consentendo di mantenere i prezzi dei prodotti VHS più bassi rispetto al concorrente. In effetti, sia le videocassette, sia i registratori, sia i lettori che sfruttavano questo standard costavano assai di meno, favorendo da un lato le vendite ai consumatori di questi prodotti e dall'altro la diffusione del sistema di videonoleggio e delle catene di distribuzione di film. Si innescò una spirale: i negozianti acquistavano i registratori ed i lettori VHS, di conseguenza richiedevano film in VHS e le case cinematografiche "sfornavano" film in VHS. Chi doveva comprarsi un videoregistratore era quindi spinto all'acquisto di questa tecnologia che, seppur inferiore per qualità rispetto alla Betamax, garantiva una maggiore compatibilità con i prodotti in commercio.

Man mano che i clienti finali del settore dell'home video manifestavano nuove esigenze, i sistemi di videoregistrazione e videoriproduzione che sfruttavano entrambi gli standard concorrenti, VHS e Betamax, furono migliorati. Dapprima si introdussero meccanismi per velocizzare il riavvolgimento, poi furono lanciati nastri della durata superiore alle 2 ore per poter registrare tranquillamente un film. Quindi, venne aggiunto un sintonizzatore in grado di registrare da un canale mentre il televisore era sintonizzato su un altro. Arrivò poi la ricerca dell'immagine con il nastro che scorreva ad alta velocità. Vennero, quindi, i primi videoregistratori denominati Hi-Fi che

utilizzavano una coppia in più di testine rotanti, montate sul tamburo di scansione, per registrare un audio stereofonico di migliore qualità insieme alle tracce video.

Sul finire del XX° secolo, il mercato delle videocassette fu insidiato e poi sostituito dalla tecnologia digitale DVD (acronimo di Digital Versatile Disc o Digital Video Disc) e arrivò il declino della tecnologia analogica collegata al VHS. Il nuovo supporto di memorizzazione di tipo ottico fu prodotto grazie alla cooperazione di alcune fra le maggiori aziende nel campo della ricerca e dell'elettronica di consumo: nel cosiddetto DVD forum, parteciparono Philips, Sony, Matsushita, Hitachi, Warner, Toshiba, JVC, Thomson e Pioneer. L'intento era quello di creare un formato di immagazzinamento di grandi quantità di video digitali che fosse accettato senza riserve da tutti i maggiori produttori, evitando così tutti i problemi di incertezza del mercato dovuti alla concorrenza fra formati che si erano presentati al tempo dell'introduzione delle videocassette per uso domestico.

Il supporto destinato a contenere film è stato denominato DVD-Video e possiede specifici sistemi di protezione in grado di disincentivare la duplicazione dei contenuti. Lo standard DVD apparve sul mercato sin dal 1997 ed ottenne un enorme successo commerciale sia nelle vendite che nel mercato del videonoleggio, avviandosi rapidamente a sostituire l'ormai tradizionale videocassetta VHS. La qualità audio/video dei film distribuiti sul supporto di memorizzazione di tipo ottico è certamente migliore di quella garantita dalle videocassette ed, inoltre, con il tempo si sono diffusi sistemi DVD Player e DVD Recorder a basso costo, anche integrati all'interno dei computer. Inoltre, l'ingombro di una cassetta VHS è il doppio di un disco DVD e, su quest'ultimo, è possibile accedere quasi istantaneamente ai vari contenuti, mentre prima era necessario scorrere avanti e dietro per grandi porzioni del nastro.

Negli ultimi anni, le grandi industrie del settore stanno lavorando al miglioramento della tecnologia DVD (da molti esperti definita come obsoleta) con la produzione di nuovi formati in grado garantire maggiori protezioni contro la pirateria e di immagazzinare quantità di dati e, quindi, film più lunghi aventi maggiore qualità audio/video (ad esempio, la codifica audio Digital Theater System è migliore di quella del Dolby Digital, ma occupa molto spazio). È in atto una nuova "guerra" commerciale tra i più noti marchi dell'elettronica e dell'entertainment, che sta disorientando i consumatori, per stabilire quale standard, tra il Blu-Ray e l'HD-DVD (supporti ad alta definizione), conquisterà la leadership nel campo dei supporti digitali e sostituirà il formato esistente, poiché i nuovi supporti contengono circa 3/5 volte i dati presenti su un singolo DVD.

Forse le grandi industrie troveranno un accordo, ma su un ulteriore formato, l'HVD, che è basato sulla nuova tecnologia delle memorie olografiche e che sembra destinato a garantire un più ampio salto di qualità poiché ogni supporto fisico potrà contenere circa 50/100 volte i dati presenti su un singolo DVD.

La penetrazione nel mercato nostrano del DVD è iniziata nel 1998 e, da allora, il volume delle vendite è aumentato negli anni (Fig. 7.1), consentendo, alle industrie che operano nel settore dell'home video, di ottenere fatturati crescenti nonostante la forte contrazione delle vendite di videocassette VHS, la cui quota di mercato ed il connesso fatturato sono ormai marginali nell'ambito dell'utilizzo in ambito domestico.

**Evoluzione della spesa degli italiani in prodotti homevideo**  
(livelli in milioni di euro)

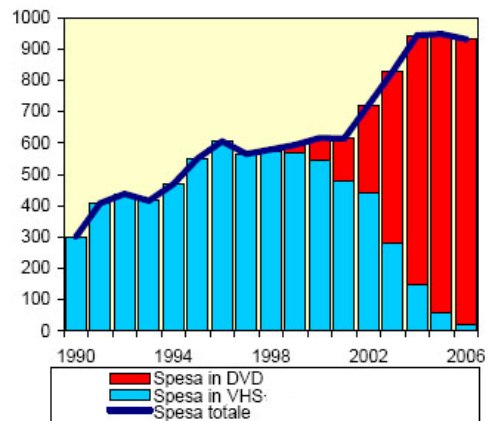


Fig. 7.1

**Evoluzione della spesa degli italiani in prodotti homevideo per supporto** (variazioni % in valore)

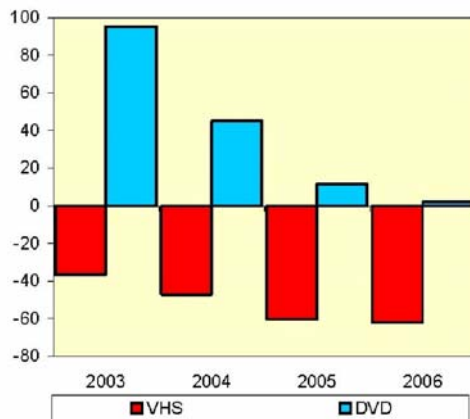


Fig. 7.2

L'andamento della spesa per supporto (Fig. 7.2) testimonia la prosecuzione della fase di crescita del DVD, il cui fatturato si è collocato sui 909 milioni di euro nel 2006 (Fig. 7.3), anche se il ritmo di sviluppo si è tuttavia sensibilmente attenuato, scontando un fisiologico assestamento della domanda, dopo la fase d'introduzione della tecnologia ed i buoni risultati della strategia aggressiva, adottata dagli editori audiovisivi nel periodo 2002/2005, che ha consentito la rapida penetrazione del DVD Player presso le famiglie italiane.

In ogni caso, rispetto all'andamento del fatturato, è necessario tener in conto del quadro macroeconomico caratterizzato dalla generale debolezza dei redditi delle famiglie che ha contraddistinto l'ultimo quadriennio. L'ampliamento dei volumi di vendita è stato possibile grazie ad un processo di contenimento dei prezzi - che interessa non solo questo canale ma, sia pure con intensità diversa fra i vari comparti, l'intero mondo dei beni e servizi dell'ambito cultura e ricreazione - consentendo così di sostenere la domanda di supporti audiovisivi. Sul fronte dei canali distributivi, oltre alle grandi catene commerciali, è stata importante l'affermazione delle edicole, che hanno ottenuto buoni

**Il mercato del DVD**  
(livelli in milioni di euro)

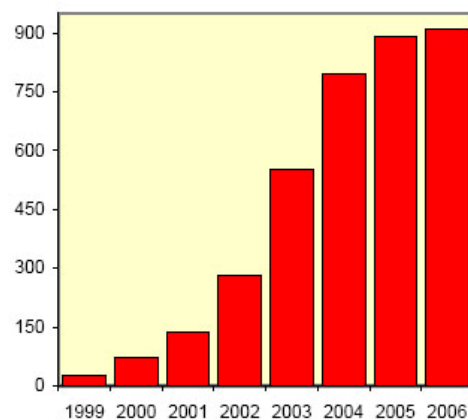
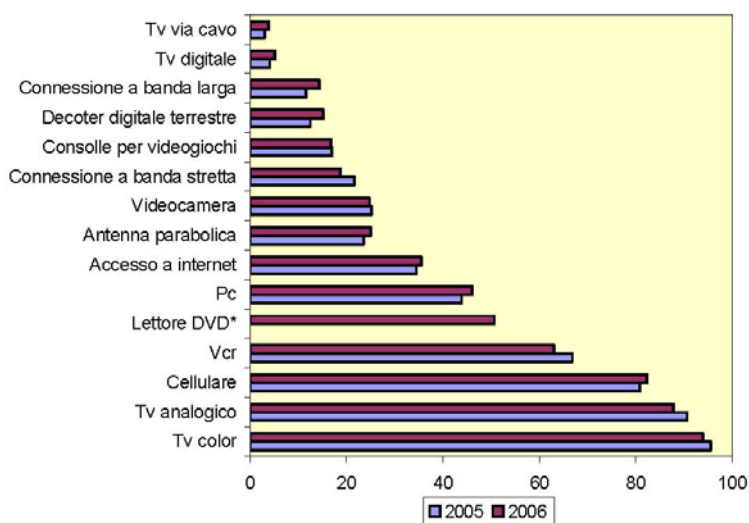


Fig. 7.3

risultati in termini di unità vendute e di incassi, consentendo all'home video di accrescere ulteriormente il proprio peso all'interno del mercato dell'audiovisivo.

Anche in Italia, il canale del videonoleggio rappresenta una fetta importante del mercato avendo tuttora una quota prossima al 30% della spesa complessiva dell'home video ed imponendo la ricerca di sinergie fra il mondo dell'editoria audiovisiva ed i videonoleggiatori, al fine di migliorare il livello di servizio offerto al consumatore e stimolare la domanda.

**Famiglie per beni tecnologici posseduti (valori %, fonte Istat)**



\*Nel 2005 i lettori DVD non erano rilevati

Fig. 7.4

mercato (Fig. 7.4). Negli ultimi anni, la spesa individuale e delle famiglie per servizi e tecnologie digitali è risultata articolata e si è indirizzata verso apparecchi diversi, ma con una forte prevalenza verso il rinnovo ed il miglioramento dei PC, dei telefonini, dei sistemi di videoriproduzione e delle TV, interessate dalla sostituzione dell'hardware tradizionale con l'alta definizione (sono in forte crescita gli acquisti di prodotti LCD e al plasma). Il risultato è, evidentemente, una maggiore diffusione di beni e servizi più tecnologici. Per quanto riguarda i DVD Player, l'intenso incremento degli ultimi anni ha portato ad un deciso aumento della penetrazione di questi beni, facendo sì che ormai oltre la metà delle famiglie italiane disponga di almeno un sistema di videoriproduzione nella propria casa (50.7%, secondo l'ultima indagine dell'Istat).

Le opportunità per il mercato dell'home video appaiono particolarmente favorevoli in prospettiva futura: l'evoluzione dei trend demografici e del grado di istruzione medio della popolazione italiana accresceranno la platea di potenziali consumatori, aumentando la quota di coloro che mostrano maggiore propensione verso questo settore e che sarà in grado di interfacciarsi meglio con le nuove tecnologie, in particolare quelle relative all'alta definizione.

Si rileva, inoltre, che la dotazione tecnologica delle famiglie italiane - un altro elemento che influenza l'andamento del mercato dell'home video - è in costante miglioramento, poiché sostenuta dalle innovazioni dell'offerta e dal generale abbassamento dei prezzi medi sia sistemi hardware e software, sia dei prodotti e servizi ad essi collegati, favorendone una maggiore penetrazione nel

## L'ESTRAPOLAZIONE DEL TREND TECNOLOGICO

Nell'ambito del suddetto contesto di riferimento relativo alle innovazioni tecnologiche che hanno riguardato il settore specifico dell'home video, è stata eseguita un'applicazione dei metodi sperimentali disponibili per l'estrapolazione del trend tecnologico nel corrispondente mercato italiano.

L'applicazione è stata avviata utilizzando i dati disponibili, rispetto ai supporti VHS e DVD, relativi ai volumi delle vendite annuali di film (esprese in milioni di unità – *Tab. 7.a*), al connesso fatturato annuale (espresso in milioni di Euro – *Tab. 7.b*), mostrando così l'andamento della diffusione di entrambi gli standard e gli effetti della sostituzione del secondo rispetto al primo.

| <b>Mercato italiano dell'home video - Volume annuale di unità vendute<br/>(espresso in milioni di pezzi)</b> |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|  | <b>1997</b> | <b>1998</b> | <b>1999</b> | <b>2000</b> | <b>2001</b> | <b>2002</b> | <b>2003</b> | <b>2004</b> | <b>2005</b> | <b>2006</b> |
| <b>Vendita VHS</b>   | 41,5        | 40,0        | 38,0        | 36,6        | 35,8        | 40,2        | 28,3        | 14,6        | 7,0         | 3,0         |
| Variazione rispetto anno precedente  | -           | -3,6%       | -5,0%       | -3,7%       | -2,2%       | 12,3%       | -29,6%      | -48,4%      | -52,1%      | -57,1%      |
| <b>Vendita DVD</b>   | -           | 0,2         | 1,1         | 3,3         | 5,6         | 10,8        | 22,5        | 36,9        | 52,0        | 64,6        |
| Variazione rispetto anno precedente  | -           | n.a.        | 450,0%      | 200,0%      | 69,7%       | 92,9%       | 108,3%      | 64,0%       | 40,9%       | 24,2%       |
| <b>Totale Home Video</b>   | 41,5        | 40,2        | 39,1        | 39,9        | 41,4        | 51,0        | 50,8        | 51,5        | 59,0        | 67,6        |
| Variazione rispetto anno precedente  | -           | -3,1%       | -2,7%       | 2,0%        | 3,8%        | 23,2%       | -0,4%       | 1,4%        | 14,6%       | 14,6%       |

*Tab. 7.a - FONTI: SIMMACO ED UFFICIO STATISTICA UNIVEDEO*

| <b>Mercato italiano dell'home video - Fatturato annuale connesso alle unità vendute<br/>(espresso in milioni di Euro)</b> |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | <b>1997</b> | <b>1998</b> | <b>1999</b> | <b>2000</b> | <b>2001</b> | <b>2002</b> | <b>2003</b> | <b>2004</b> | <b>2005</b> | <b>2006</b> |
| <b>Vendita VHS</b>  | 325,4       | 418,3       | 403,0       | 377,0       | 310,0       | 281,5       | 178,2       | 94,1        | 39,0        | 10,0        |
| <b>Vendita DVD</b>  | -           | 4,6         | 27,0        | 72,0        | 118,9       | 201,6       | 378,2       | 533,9       | 595,0       | 649,0       |

*Tab. 7.b - FONTI: SIMMACO ED UFFICIO STATISTICA UNIVEDEO*

### La tecnica della regressione lineare: le previsioni rispetto al tempo

Tenendo conto dei dati indicati nella suddetta tabella relativa ai volumi annuali di unità vendute, è possibile adottare la tecnica della regressione lineare a due variabili per effettuare le previsioni, secondo la formula:

$$Y = a + bX + e \quad (5.5)$$

dove  $Y$  rappresenta la variabile dipendente numero di unità vendute (espresso in migliaia), della quale si prevedono i valori futuri attraverso la relazione causale con la variabile indipendente tempo ( $X$ ) - senza le cifre indicanti il millennio - ad essa linearmente correlata,  $a$  rappresenta l'intercetta,  $b$  è l'inclinazione della funzione (coefficiente di regressione di  $Y$  su  $X$ ) ed  $e$  rappresenta una stima cautelativa dell'errore tra il valore previsto per  $Y$  e il dato realmente osservabile.

Adottando la regressione lineare su un numero di  $n = 7$  osservazioni sul numero di unità VHS vendute nel periodo tra il 1998 ed il 2004, si ottiene

| $X$ | $x$   | $x^2$ | $Y$    | $y$     | $xy$       | $(Y_i - \hat{Y}_i)$ | $(Y_i - \hat{Y}_i)^2$ |
|-----|-------|-------|--------|---------|------------|---------------------|-----------------------|
| 98  | -3,00 | 9,00  | 40.000 | 6.643   | -19.928,57 | -3.214,29           | 10.331.632,65         |
| 99  | -2,00 | 4,00  | 38.000 | 4.643   | -9.285,71  | -1.928,57           | 3.719.387,76          |
| 100 | -1,00 | 1,00  | 36.600 | 3.243   | -3.242,86  | -42,86              | 1.836,73              |
| 101 | 0,00  | 0,00  | 35.800 | 2.443   | 0,00       | 2.442,86            | 5.967.551,02          |
| 102 | 1,00  | 1,00  | 40.200 | 6.843   | 6.842,86   | 10.128,57           | 102.587.959,18        |
| 103 | 2,00  | 4,00  | 28.300 | -5.057  | -10.114,29 | 1.514,29            | 2.293.061,22          |
| 104 | 3,00  | 9,00  | 14.600 | -18.757 | -56.271,43 | -8.900,00           | 79.210.000,00         |

con  $b = -3.285$ ,  $a = 365.214$ , l'errore standard è  $s_e^2 = 40.822.285$  e, rappresentando  $\hat{Y} = a + bX$  la stima del valore di  $Y$ , si ha  $\hat{Y}_i = 365.214 + [-3.285(X_i)]$ . Quindi, volendo prevedere il numero di unità vendute nel 2005, si otterrà

$$\hat{Y}_i = 365.214 + [-3.285(105)] = 20.214$$

e, nel 2006, si otterrà

$$\hat{Y}_i = 365.214 + [-3.285(106)] = 16.928$$

il cui risultato è molto lontano dai reali valori (rispettivamente circa **7.000** e **3.000**).

Assumendo un margine di confidenza del **50%**, si otterrà  $\frac{\alpha}{2} = \frac{1-0,5}{2} = 0,25$  e, con un grado di

liberta  $N - 2 = 5$ , risulterà  $t_{0,25,5} = 0,727$ . Inoltre, essendo

$$\frac{(X_* - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = 0,57 \text{ per il 2005 e } \frac{(X_* - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = 0,89 \text{ per il 2006}$$

con  $X_*$  valore della variabile  $X$  relativo all'anno obiettivo dell'estrapolazione, il grado di confidenza sarà rispettivamente

$$\pm 0,727 \sqrt{40.822.285(1 + \frac{1}{7} + 0,57)} = \pm 6.082 \text{ per il 2005}$$

$$\text{e } \pm 0,727 \sqrt{40.822.285(1 + \frac{1}{7} + 0,89)} = \pm 6.627 \text{ per il 2006}$$

In questo modo si ottiene il lower bound e l'upper bound del numero di unità vendute previste sempre per il 2005, cioè  $\hat{Y}_i = 365.214 + [-3.285(105)] \pm 6.082 = 20.214 \pm 6.082$ , e per il 2006, ovvero  $\hat{Y}_i = 365.214 + [-3.285(106)] \pm 6.627 = 16.928 \pm 6.627$ , che però sono ancora molto lontani dai reali valori (rispettivamente circa **7.000** e **3.000**).

Adottando la regressione lineare su un numero di  $n = 7$  osservazioni sul numero di unità DVD vendute nel periodo tra il 1998 ed il 2004, si ottiene

| $X$ | $x$   | $x^2$ | $Y$    | $y$     | $xy$      | $(Y_i - \hat{Y}_i)$ | $(Y_i - \hat{Y}_i)^2$ |
|-----|-------|-------|--------|---------|-----------|---------------------|-----------------------|
| 98  | -3,00 | 9,00  | 200    | -11.286 | 33.857,14 | 5.900,00            | 34.810.000,00         |
| 99  | -2,00 | 4,00  | 1.100  | -10.386 | 20.771,43 | 1.071,43            | 1.147.959,18          |
| 100 | -1,00 | 1,00  | 3.300  | -8.186  | 8.185,71  | -2.457,14           | 6.037.551,02          |
| 101 | 0,00  | 0,00  | 5.600  | -5.886  | 0,00      | -5.885,71           | 34.641.632,65         |
| 102 | 1,00  | 1,00  | 10.800 | -686    | -685,71   | -6.414,29           | 41.143.061,22         |
| 103 | 2,00  | 4,00  | 22.500 | 11.014  | 22.028,57 | -442,86             | 196.122,45            |
| 104 | 3,00  | 9,00  | 36.900 | 25.414  | 76.242,86 | 8.228,57            | 67.709.387,76         |

con  $b = 5.728$ ,  $a = -567.100$ , l'errore standard è  $s_e^2 = 37.137.143$  e, rappresentando  $\hat{Y} = a + bX$  la stima del valore di  $Y$ , si ha  $\hat{Y}_i = -567.100 + [5.728(X_i)]$ . Quindi, volendo prevedere il numero di unità vendute nel 2005, si otterrà

$$\hat{Y}_i = -567.100 + [5.728(105)] = 34.400$$

e, nel 2006, si otterrà

$$\hat{Y}_i = -567.100 + [5.728(106)] = 40.128$$

il cui risultato è molto lontano dai reali valori (rispettivamente circa **52.000** e **64.600**).

Assumendo un margine di confidenza del **50%**, si otterrà  $\frac{\alpha}{2} = \frac{1-0,5}{2} = 0,25$  e, con un grado di libertà  $N - 2 = 5$ , risulterà  $t_{0,25,5} = 0,727$ . Inoltre, essendo

$$\frac{(X_* - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = 0,57 \text{ per il 2005 e } \frac{(X_* - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = 0,89 \text{ per il 2006}$$

con  $X_*$  valore della variabile  $X$  relativo all'anno obiettivo dell'estrapolazione, il grado di confidenza sarà rispettivamente

$$\pm 0,727 \sqrt{37.137.143(1 + \frac{1}{7} + 0,57)} = \pm 5.801 \text{ per il 2005}$$

$$\text{e } \pm 0,727 \sqrt{37.137.143(1 + \frac{1}{7} + 0,89)} = \pm 6.321 \text{ per il 2006}$$

In questo modo si ottiene il lower bound e l'upper bound del numero di unità vendute previste sempre per il 2005, cioè  $\hat{Y}_i = -567.100 + [5.728(105)] \pm 5.801 = 34.400 \pm 5.801$ , e per il 2006, ovvero  $\hat{Y}_i = -567.100 + [5.728(106)] \pm 6.321 = 40.128 \pm 6.321$ , che però sono ancora molto lontani dai reali valori (rispettivamente circa **52.000** e **64.600**).

Dunque, per entrambi i casi analizzati, la correlazione tra due variabili (volume delle vendite e tempo) sembra non presentare un nesso di causalità, diretta o indiretta e la relazione sembra non essere lineare.



### La tecnica della regressione lineare: le previsioni rispetto al fatturato

In un secondo studio, la regressione lineare è stata adottata per effettuare le previsioni nel caso della correlazione tra la variabile dipendente  $Y$  che rappresenta il numero di unità VHS vendute annualmente (espresso in migliaia) e la variabile indipendente  $X$  che rappresenta il connesso fatturato annuale (espresso in milioni di Euro. Considerando la moneta a valore bloccato), su un numero di  $n = 7$  osservazioni nel periodo tra il 1998 ed il 2004, si ottiene

| $X$   | $x$     | $x^2$     | $Y$    | $y$     | $xy$         | $(Y_i - \hat{Y}_i)$ | $(Y_i - \hat{Y}_i)^2$ |
|-------|---------|-----------|--------|---------|--------------|---------------------|-----------------------|
| 418,3 | 123,71  | 15.305,22 | 40.000 | 6.643   | 821.816,33   | -1.637,08           | 2.680.037,47          |
| 403   | 108,41  | 11.753,66 | 38.000 | 4.643   | 503.352,04   | -2.613,08           | 6.828.212,73          |
| 377   | 82,41   | 6.792,11  | 36.600 | 3.243   | 267.257,76   | -2.272,96           | 5.166.343,20          |
| 310   | 15,41   | 237,60    | 35.800 | 2.443   | 37.654,90    | 1.411,21            | 1.991.516,90          |
| 281,5 | -13,09  | 171,24    | 40.200 | 6.843   | -89.543,67   | 7.718,66            | 59.577.661,41         |
| 178,2 | -116,39 | 13.545,63 | 28.300 | -5.057  | 588.579,18   | -2.732,31           | 7.465.519,48          |
| 94,1  | -200,49 | 40.194,52 | 14.600 | -18.757 | 3.760.539,18 | -5.339,05           | 28.505.477,39         |

con  $b = 66,93$ ,  $a = 13.641$ , l'errore standard è  $s_e^2 = 22.442.953$  e, rappresentando  $\hat{Y} = a + bX$  la stima del valore di  $Y$ , si ha  $\hat{Y}_i = 13.641 + [66,93(X_i)]$ .

Sempre considerando la moneta a valore bloccato, se, ad esempio, si stima in **39 milioni di Euro** il valore del reddito netto nel 2005 e in **10 milioni di Euro** il valore del reddito netto nel 2006, il corrispondente numero di unità vendute sarà stimato in circa

$$\hat{Y}_i = 13.641 + [66,93(39)] = 16.251 \text{ per il 2005}$$

$$\text{e } \hat{Y}_i = 13.641 + [66,93(10)] = 14.310 \text{ per il 2006}$$

il cui risultato è molto lontano dai reali valori (rispettivamente circa **7.000** e **3.000**).

Assumendo un margine di confidenza del **90%**, si otterrà  $\frac{\alpha}{2} = \frac{1-0,9}{2} = 0,05$  e, con un grado di libertà  $N - 2 = 5$ , risulterà  $t_{0,05,5} = 2,015$ . Inoltre, essendo

$$\frac{(X_* - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = 0,74 \text{ per il 2005 e } \frac{(X_* - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = 0,92 \text{ per il 2006}$$

con  $X_*$  valore della variabile  $X$  relativo all'anno obiettivo dell'estrapolazione, il grado di confidenza sarà rispettivamente

$$\pm 2,015 \sqrt{22.442.953(1 + \frac{1}{7} + 0,74)} = \pm 13.107 \text{ per il 2005}$$

$$\text{e } \pm 2,015 \sqrt{22.442.953(1 + \frac{1}{7} + 0,92)} = \pm 13.711 \text{ per il 2006.}$$

In questo modo si ottiene il lower bound e l'upper bound del numero di unità vendute previste sempre per il 2005, cioè  $\hat{Y}_i = 13.641 + [66,93(39)] \pm 13.107 = 16.251 \pm 13.107$ , e per il 2006, ovvero  $\hat{Y}_i = 13.641 + [66,93(10)] \pm 13.711 = 14.310 \pm 13.711$ : dunque, i valori così previsti risulteranno sostanzialmente attendibili, visto che i reali valori sono rispettivamente circa **7.000** e **3.000**.

Inoltre, adottando la regressione lineare nel caso della correlazione tra la variabile dipendente  $Y$  che rappresenta il numero di unità DVD vendute annualmente (espresso in migliaia) e la variabile indipendente  $X$  che rappresenta il connesso fatturato annuale (espresso in milioni di Euro, considerando la moneta a valore bloccato), su un numero di  $n = 7$  osservazioni nel periodo tra il 1998 ed il 2004, si ottiene

| $X$   | $x$     | $x^2$      | $Y$    | $y$     | $xy$         | $(Y_i - \hat{Y}_i)$ | $(Y_i - \hat{Y}_i)^2$ |
|-------|---------|------------|--------|---------|--------------|---------------------|-----------------------|
| 4,6   | -186,29 | 34.702,37  | 200    | -11.286 | 2.102.367,35 | 1.445,82            | 2.090.384,55          |
| 27    | -163,89 | 26.858,53  | 1.100  | -10.386 | 1.702.070,20 | 814,91              | 664.075,47            |
| 72    | -118,89 | 14.133,81  | 3.300  | -8.186  | 973.164,49   | -60,58              | 3.669,51              |
| 118,9 | -71,99  | 5.181,94   | 5.600  | -5.886  | 423.687,35   | -965,92             | 932.991,85            |
| 201,6 | 10,71   | 114,80     | 10.800 | -686    | -7.346,94    | -1.417,97           | 2.010.646,18          |
| 378,2 | 187,31  | 35.086,64  | 22.500 | 11.014  | 2.063.133,06 | -1.787,54           | 3.195.304,94          |
| 533,9 | 343,01  | 117.658,80 | 36.900 | 25.414  | 8.717.463,06 | 1.971,28            | 3.885.949,51          |

con  $b = 68,34$ ,  $a = -1.560,20$ , l'errore standard è  $s_e^2 = 2.556.604$  e, rappresentando  $\hat{Y} = a + bX$  la stima del valore di  $Y$ , si ha  $\hat{Y}_i = -1.560,20 + [68,34(X_i)]$ .

Sempre considerando la moneta a valore bloccato, se, ad esempio, si stima in **595 milioni di Euro** il valore del reddito netto nel 2005 e in **649 milioni di Euro** il valore del reddito netto nel 2006, il corrispondente numero di unità vendute sarà stimato in circa

$$\hat{Y}_i = -1.560,20 + [68,34(595)] = 39.104 \text{ per il 2005}$$

$$\text{e } \hat{Y}_i = -1.560,20 + [68,34(X_i)] = 42.795 \text{ per il 2006}$$

il cui risultato è molto lontano dai reali valori (rispettivamente circa **52.000** e **64.600**).

Assumendo un margine di confidenza del **90%**, si otterrà  $\frac{\alpha}{2} = \frac{1-0,9}{2} = 0,05$  e, con un grado di libertà  $N - 2 = 5$ , risulterà  $t_{0,05,5} = 2,015$ . Inoltre, essendo

$$\frac{(X_* - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = 0,70 \text{ per il 2005 e } \frac{(X_* - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = 0,89 \text{ per il 2006}$$

con  $X_*$  valore della variabile  $X$  relativo all'anno obiettivo dell'estrapolazione, il grado di confidenza sarà rispettivamente

$$\pm 2,015 \sqrt{2.556.604(1 + \frac{1}{7} + 0,70)} = \pm 4.372 \text{ per il 2005}$$

$$\text{e } \pm 2,015 \sqrt{2.556.604(1 + \frac{1}{7} + 0,89)} = \pm 4.603 \text{ per il 2006.}$$

In questo modo si ottiene il lower bound e l'upper bound del numero di unità vendute previste sempre per il 2005, cioè  $\hat{Y}_i = -1.560,20 + [68,34(595)] \pm 4.372 = 39.104 \pm 4.372$ , e per il 2006, ovvero  $\hat{Y}_i = -1.560,20 + [68,34(X_i)] \pm 4.603 = 42.795 \pm 4.603$ , il cui risultato è molto lontano dai reali valori (rispettivamente circa **52.000** e **64.600**).

Dunque, in questa seconda applicazione della regressione lineare, sembra che almeno in un caso, quello del VHS, si manifesti la correlazione tra due variabili e la relazione sembra essere lineare, mentre nel caso del DVD la correlazione tra due variabili sembra non presentare un nesso di causalità, diretta o indiretta, e la relazione sembra non essere lineare. In realtà, soprattutto in questo ultimo caso, bisogna tener conto che sul fatturato incidono le variazioni delle politiche di prezzo che sono state adottate negli anni e che comportano una non linearità nella relazione tra il numero di unità vendute e lo stesso fatturato da esse ricavato.

Per sapere se la regressione lineare adottata rappresenta un valido modello per una certa previsione di sviluppo tecnologico, sono stati effettuati i seguenti due test statistici:

- l'F-test per verificare l'adeguatezza del modello, chiarendo l'esistenza di una relazione reale tra le variabili dipendenti ed indipendenti, attraverso il calcolo dei valori legati alla variabile  $Y$  come se tutti i coefficienti dell'equazione di regressione fossero nulli. Tramite l'apposita tabella statistica della Distribuzione Standard di F è stato calcolato il relativo valore critico pari a **16,26** (ottenuto imponendo  $n - k - 1 = 7 - 1 - 1 = 5$  e la

probabilità stimata dell' **1%** di errore che gli esperti delle previsioni potrebbero commettere nel supporre una relazione tra le variabili dipendenti ed indipendenti). A questo punto, per il caso del VHS, è stato calcolato

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{k}}{s_e^2} = 17,56$$

e , per il caso del DVD, è stato calcolato

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{k}}{s_e^2} = 427,045$$

e poiché quest'ultimo valore è molto più grande del suddetto valore critico, significa che dovranno essere respinte le eventuali ipotesi di assenza di relazione tra le variabili dipendenti ed indipendenti con una probabilità di errore molto più bassa dell' **1%**.

- il t-test del coefficiente di regressione per verificare che i valori reali di **a** e di **b** sono diversi da zero. Tramite l'apposita tabella statistica è stato determinato un valore critico di **t** pari a **2,015** (ottenuto imponendo  $n - k - 1 = 7 - 1 - 1 = 5$  e la probabilità stimata nel **5%**, da parte degli esperti, di respingere le ipotesi che **b** sia differente da zero).

A questo punto, tenendo conto che  $x_i$  è la deviazione dalla media, per il caso del VHS, è stato calcolato

$$t = \frac{b}{\sqrt{\frac{s_e^2}{\sum_{i=1}^n (x_i)^2}}} = \frac{66,93}{\sqrt{\frac{22.442.953}{87.999}}} = 4,19$$

e , per il caso del DVD, è stato calcolato

$$t = \frac{b}{\sqrt{\frac{s_e^2}{\sum_{i=1}^n (x_i)^2}}} = \frac{68,34}{\sqrt{\frac{2.556.604}{233.737}}} = 20,66$$

e poiché entrambi i valori sono più grandi del suddetto valore critico, significa che saranno respinte le eventuali ipotesi che  $b$  possa essere uguale a zero con una probabilità di errore molto più bassa del **5%**.

### Il modello estrapolativo di Fisher-Pry: le previsioni sulla diffusione del DVD

Per effettuare delle analisi più adeguate del trend dello sviluppo tecnologico sono stati quindi utilizzati i modelli estrapolativi più complessi di Fisher-Pry e di Gompertz, il primo dei quali è stato utilizzato per effettuare le previsioni sulla diffusione dei supporti DVD ed il secondo sulla diffusione dei supporti VHS.

Il modello di Fisher-Pry tiene conto dei tempi di introduzione, sviluppo e maturità delle tecnologie e del loro tasso di sostituibilità, avendo assunto l'esistenza di un contesto di riferimento sostanzialmente invariabile nel periodo di studio e che la raccolta empirica della serie temporale di dati sia stata eseguita in modo accurato. Assumendo che lo sviluppo tecnologico presenta caratteristiche simili a quelle dello sviluppo di un sistema biologico e che il numero di unità vendute potenziale e quelle già raggiunte stimolano un incremento degli acquisti ed una più rapida penetrazione nel mercato, si ottiene una curva di sviluppo sigmoideale crescente.

Il modello di Fisher-Pry è stato applicato per prevedere il livello di diffusione della tecnologia DVD calcolando la frazione di potenziale penetrazione del mercato della tecnologia  $f = \frac{Y}{L}$ , dove  $L$  rappresenta una stima dell'upper bound della crescita del numero di unità vendute  $Y$  (variabile indipendente). La supposizione iniziale è che il tasso di sostituzione  $f$  risulta proporzionale alla frazione di mercato raggiunta (ovvero a se stesso) e, contemporaneamente, alla frazione di mercato residuo  $1 - f$ .

È da rilevare che la stima di  $L$  dipende da molti fattori tra i quali il numero crescente di potenziali acquirenti, le variazioni del metodo di produzione, i miglioramenti nei componenti interni, ecc...: una valutazione errata di questo dato comporta una evidente distorsione nel successivo calcolo dei valori delle costanti  $b$  (coefficiente di interazione tra gli acquirenti ed i potenziali acquirenti) e  $c$ . Si evidenzia che le variazioni nei valori di  $b$  modificano la forma della curva e le modifiche del valore di  $c$  cambiano la posizione della curva, consentendo di adattare con flessibilità il modello di Fisher-Pry alla serie di dati collezionati.

Innanzitutto è stata adottata una stima di  $L$  pari a **73,8** milioni di unità vendute ed è stata trasformata la formula

$$f = \frac{1}{1 + e^{-b(t-t_0)}} = \frac{1}{1 + ce^{-bt}} \quad (5.7)$$

con  $c = e^{bt_0}$ , dalla quale si genera la famosa curva di sviluppo sigmoideale, in

$$Z = \ln\left[\frac{1-f}{f}\right] = \ln(c) - bt \quad (5.8)$$

per rendere più agevole la previsione, con  $Z$  che rappresenta una funzione lineare del tempo in cui i valori delle costanti  $b$  e  $c$  sono calcolati attraverso la tecnica della regressione lineare applicata alla stessa serie di dati disponibili, che presenta un numero di  $n = 7$  osservazioni sul numero di unità DVD vendute nel periodo tra il 1998 ed il 2004, si ottiene

| Anno | t  | DVD                    |       |                | DVD          |              |
|------|----|------------------------|-------|----------------|--------------|--------------|
|      |    | Y Numero Unità Vendute | f=Y/L | Z= ln((1-f)/f) | f Previsione | Y Previsione |
| 1997 | 0  | 0,0                    | -     | -              | -            | -            |
| 1998 | 1  | 0,2                    | 0,003 | 5,908          | -            | -            |
| 1999 | 2  | 1,1                    | 0,015 | 4,191          | -            | -            |
| 2000 | 3  | 3,3                    | 0,045 | 3,062          | -            | -            |
| 2001 | 4  | 5,6                    | 0,076 | 2,500          | -            | -            |
| 2002 | 5  | 10,8                   | 0,146 | 1,764          | -            | -            |
| 2003 | 6  | 22,5                   | 0,305 | 0,824          | -            | -            |
| 2004 | 7  | 36,9                   | 0,500 | -              | -            | -            |
| 2005 | 8  | 52,0                   | 0,705 | 0,869          | 0,715        | 52,8         |
| 2006 | 9  | 64,6                   | 0,875 | 1,949          | 0,863        | 63,7         |
| 2007 | 10 |                        |       |                | 0,940        | 69,4         |

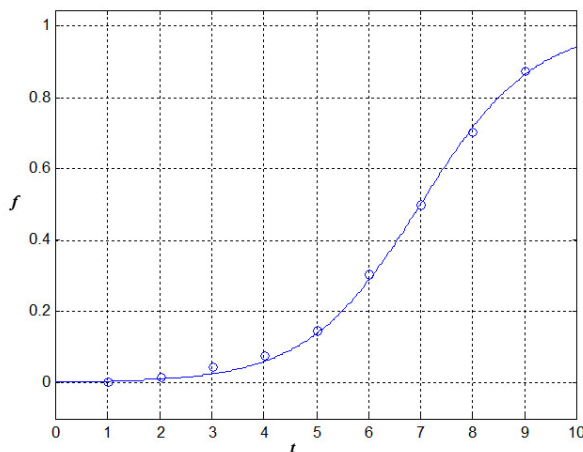


Fig. 7.5

e, quindi, sono risultati  $b = -0,920$ ,  $\ln(c) = 6,286$  e  $Z = 6,286 - 0,920 t$ .

Quindi, si ottiene, applicando la formula (5.7),  $f = 0,715$  per il 2005 e  $f = 0,863$  per il 2006 (Fig. 7.5), cui corrispondono, rispettivamente, un numero di unità vendute  $Y$  pari a **52,8** milioni per il 2005 e **63,7** milioni per il 2006, che sono prossimi ai reali valori (rispettivamente circa **52,0** milioni e

**64.6** milioni). In questo caso, la stima iniziale dell'upper bound  $L$  risulta evidentemente adeguata alle reali possibilità di mercato dei supporti DVD.

È stata poi adottata una stima di  $L$  pari a **80,0** milioni di unità vendute, ottenendo

| Anno | $t$ | DVD                            |         |                        | DVD               |                   |
|------|-----|--------------------------------|---------|------------------------|-------------------|-------------------|
|      |     | $Y$ Numero<br>Unità<br>Vendute | $f=Y/L$ | $Z=$<br>$\ln((1-f)/f)$ | $f$<br>Previsione | $Y$<br>Previsione |
| 1997 | 0   | 0,0                            | -       | -                      | -                 | -                 |
| 1998 | 1   | 0,2                            | 0,003   | 5,989                  | -                 | -                 |
| 1999 | 2   | 1,1                            | 0,014   | 4,273                  | -                 | -                 |
| 2000 | 3   | 3,3                            | 0,041   | 3,146                  | -                 | -                 |
| 2001 | 4   | 5,6                            | 0,070   | 2,587                  | -                 | -                 |
| 2002 | 5   | 10,8                           | 0,135   | 1,857                  | -                 | -                 |
| 2003 | 6   | 22,5                           | 0,281   | 0,938                  | -                 | -                 |
| 2004 | 7   | 36,9                           | 0,461   | 0,155                  | -                 | -                 |
| 2005 | 8   | 52,0                           | 0,650   | 0,619                  | 0,713             | 57,0              |
| 2006 | 9   | 64,6                           | 0,808   | 1,434                  | 0,860             | 68,8              |
| 2007 | 10  |                                |         |                        | 0,939             | 75,1              |

e, quindi, sono risultati  $b = -0,909$ ,  $\ln(c) = 6,343$  e  $Z = 6,343 - 0,909 t$ .

Quindi, si ottiene, applicando la formula (5.7),  $f = 0,713$  per il 2005 e  $f = 0,860$  per il 2006 (Fig. 7.6), cui corrispondono, rispettivamente, un numero di unità vendute  $Y$  pari a **57,0** milioni per il 2005 e **68,8** milioni per il 2006, che sono lontani dai reali valori (rispettivamente circa **52,0** milioni e **64,6** milioni): in questo caso, la stima iniziale dell'upper bound  $L$  pari a **80,0** milioni di unità vendute risulta evidentemente troppo elevata rispetto alle reali possibilità di mercato dei supporti DVD.

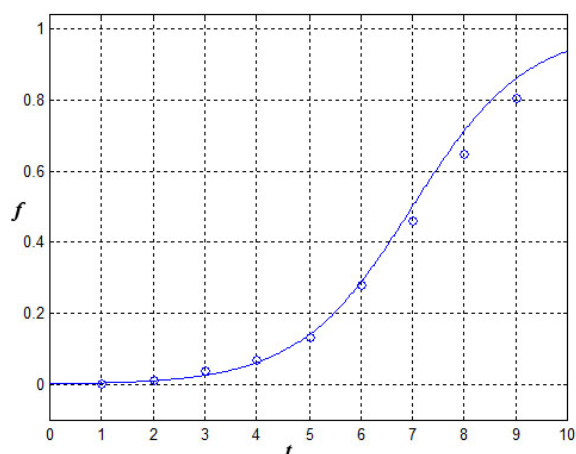


Fig. 7.6

In ogni caso, come previsto dalla teoria, nel periodo iniziale la curva di sviluppo sigmoideale mostra una lenta fase di introduzione della tecnologia DVD: il livello delle vendite collegate alla nuova tecnologia è risultato molto basso rispetto al potenziale. Dopo il superamento delle criticità iniziali, si è sbloccato l'andamento delle vendite e gli acquirenti sono stati stimolati dalla crescita del sistema di distribuzione, dei servizi e della rete di assistenza: ciò ha favorito un rapido incremento degli acquisti di tutti i beni e servizi che utilizzano questa nuova tecnologia, nonché la sostituzione della tecnologia VHS esistente. Nelle ipotesi considerate, si è stimato il mercato quasi saturo e, quindi, la penetrazione dello stesso diverrà più ardua, manifestando un rallentamento graduale dello sviluppo della tecnologia DVD che si appresta, infatti, ad essere sostituita da nuove tecnologie.



### **Il modello estrapolativo di Gompertz: le previsioni sulla diffusione del VHS**

Il modello di Gompertz è stato, invece, applicato per prevedere il livello di diffusione della tecnologia VHS, avendo assunto l'esistenza di un contesto di riferimento sostanzialmente invariabile nel periodo di studio e che la raccolta empirica della serie temporale di dati sia stata eseguita in modo accurato.

Nel Gompertz si assume che l'andamento dello sviluppo tecnologico presenta caratteristiche simili a quelle della decadenza di un sistema biologico (ovvero che il tasso di mortalità di una popolazione aumenta esponenzialmente con l'età): è, dunque, più adatto in casi come quello del VHS in cui si manifesta la sostituzione della tecnologia. In sostanza, oltre il **50%** del livello di penetrazione, l'andamento dipende primariamente dalla frazione di mercato residuo senza alcun legame con il numero di unità vendute già avvenuto.

La curva di sviluppo sigmoideale di Gompertz si ottiene dalla formula

$$f = \exp[-b \exp(-kt)] \quad (5.9)$$

dove,  $f = \frac{Y}{L}$  (variabile dipendente) rappresenta la frazione di potenziale penetrazione del mercato della tecnologia VHS ed  $L$  rappresenta una stima dell'upper bound della crescita del numero di unità vendute  $Y$  (variabile indipendente).

È da rilevare che, anche in questo caso, la stima di  $L$  dipendente da molti fattori ed una valutazione errata di questo dato comporta una evidente distorsione nel successivo calcolo dei valori delle costanti  $b$  e  $k$ . Si evidenzia che le variazioni nei valori di  $k$  modificano la forma della curva e le modifiche del valore di  $b$  cambiano la posizione della curva, consentendo a coloro che effettuano le previsioni di adattare con flessibilità il modello di Gompertz alla serie di dati collezionati.

Innanzitutto è stata adottata una stima di  $L$  pari a **42,0** milioni di unità vendute ed è stata trasformata la formula (5.9) in

$$Z = \ln[-\ln(f)] = \ln(b) - kt \quad (5.10)$$

per rendere più agevole la previsione, con  $Z$  che rappresenta una funzione lineare del tempo in cui i valori delle costanti  $b$  e  $k$  sono calcolati attraverso la tecnica della regressione lineare applicata alla stessa serie di dati disponibili, che presenta un numero di  $n = 8$  osservazioni sul numero di unità VHS vendute nel periodo tra il 1997 ed il 2004, si ottiene

| Anno | t  | VHS                          |       |                  | VHS           |               |
|------|----|------------------------------|-------|------------------|---------------|---------------|
|      |    | Y Numero<br>Unità<br>Vendute | f=Y/L | Z=<br>ln(-ln(f)) | f<br>Previsto | Y<br>Previsto |
| 1997 | 1  | 41,5                         | 0,988 | - 4,425          | -             | -             |
| 1998 | 2  | 40,0                         | 0,952 | - 3,020          | -             | -             |
| 1999 | 3  | 38,0                         | 0,905 | - 2,302          | -             | -             |
| 2000 | 4  | 36,6                         | 0,871 | - 1,983          | -             | -             |
| 2001 | 5  | 35,8                         | 0,852 | - 1,834          | -             | -             |
| 2002 | 6  | 40,2                         | 0,957 | - 3,128          | -             | -             |
| 2003 | 7  | 28,3                         | 0,674 | - 0,929          | -             | -             |
| 2004 | 8  | 14,6                         | 0,348 | 0,055            | -             | -             |
| 2005 | 9  | 7,0                          | 0,167 | 0,583            | 0,188         | 7,9           |
| 2006 | 10 | 3,0                          | 0,071 | 0,970            | 0,070         | 3,0           |
| 2007 | 11 |                              |       |                  | 0,015         | 0,6           |

e, quindi, sono risultati  $\ln(b) = -3,652$ ,  $k = -0,463$  e  $Z = -3,652 + 0,463t$ .

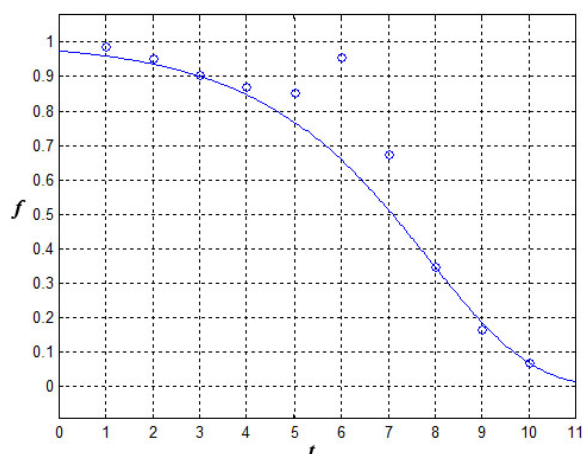


Fig. 7.7

Quindi, si ottiene, applicando la formula (5.9),  $f = 0,188$  per il 2005 e  $f = 0,070$  per il 2006 (Fig. 7.7), cui corrispondono, rispettivamente, un numero di unità vendute  $Y$  pari a **7,9** milioni per il 2005 e **3,0** milioni per il 2006, che sono prossimi ai reali valori (rispettivamente circa **7,0** milioni e **3,0** milioni). In questo caso, la stima iniziale dell'upper bound  $L$  risulta evidentemente adeguata alla storia del mercato dei supporti VHS.

In ogni caso, come previsto dalla teoria, nel periodo finale la curva di sviluppo sigmoideale mostra una fase di accelerazione dell'uscita del mercato della tecnologia VHS, con un livello delle vendite che tende rapidamente ad annullarsi, favorendo l'effetto di sostituzione con la tecnologia DVD.

La presente applicazione, sulla diffusione delle tecnologie del settore dell'home video, ha dimostrato l'importanza di effettuare sia il monitoraggio dell'andamento del contesto socio-economico sia delle adeguate previsioni sull'evoluzione del mercato per sostenere il complessivo processo di gestione dello sviluppo tecnologico, che rappresenta una delle competenze primarie dei manager pubblici e delle organizzazioni imprenditoriali nell'attuale era di globalizzazione dei sistemi.

## **CAP. 8 - CONCLUSIONI**

### **UN QUADRO ORGANICO**

Il presente lavoro di tesi rappresenta la sintesi di un'attività di ricerca tesa a fornire un contributo per l'“ingegnerizzazione” dei processi di previsione e di gestione dello sviluppo tecnologico, ricomponendo in un quadro organico - rispetto alla letteratura di riferimento - l'insieme delle fasi, degli strumenti e delle tecniche di analisi statistica, qualitativa e quantitativa disponibili, proprie dell'Ingegneria Economico-Gestionale. Dunque, l'elaborato rappresenta un contributo per la sistematizzazione di una importante classe di modelli, al fine di renderli maggiormente fruibili, come strumento di supporto alle scelte strategiche, da parte del decisore pubblico e degli amministratori delle imprese.

Sinteticamente, le fasi del processo ciclico di pianificazione strategica connessa all'introduzione delle innovazioni tecnologiche possono essere ricomposte nel seguente quadro di riferimento:

- la definizione del problema, con la descrizione del contesto sociale, degli obiettivi, del processo logico-decisionale adottato e delle componenti decisionali, della tecnologia e della sua diffusione nei vari settori dell'organizzazione e nell'ambiente esterno;
- un'adeguata modellizzazione del complesso sistema socio-economico (su scala nazionale ed internazionale) ed il monitoraggio dell'andamento generale dello stesso per la collezione - da diverse fonti di informazione - di un ricco e vario insieme di dati disponibili e ritenuti utili, la loro analisi, la loro organizzazione e lo studio delle loro interrelazioni. Questa fase è necessaria per definire l'effettivo stato di sviluppo tecnologico e di effettuare l'analisi, l'interpretazione e la sintesi dei trend prospettici nel futuro in relazione alla spinta al progresso proveniente da diversi fattori sociali ed economici, nonché all'attuale livello delle conoscenze scientifiche e tecnologiche;
- le previsioni necessarie a rendere più chiaro ai manager l'insieme dei possibili scenari presenti e futuri collegati alle stesse innovazioni ed alla sostituzione delle tecnologie esistenti, comprensivi di eventuali esternalità ed incertezze. Questa fase - realizzata grazie all'adozione di tecniche e metodi sperimentali disponibili quali l'estrapolazione del trend tecnologico, la simulazione e l'opinione dell'esperto - è utile per mostrare i probabili “percorsi” (effetti) seguiti dall'organizzazione a valle delle scelte strategiche di investimento nell'innovazione tecnologica (cause), nonché le possibili opzioni di aggiustamento del “cammino” intrapreso grazie al monitoraggio dei risultati intermedi raggiunti e delle variazioni riscontrate rispetto alle assunzioni ed alle ipotesi iniziali;

- la definizione di una serie di possibili alternativi progetti di innovazione tecnologica e l'identificazione, l'analisi e la valutazione preventiva dei loro effetti (scientifici e tecnologici, socio-economici, istituzionali, culturali, politici, ambientali, ecc...). In particolare, gli effetti più significativi rispetto agli obiettivi dell'organizzazione – nonché le probabilità che si verifichino - possono essere identificati attraverso tecniche di scansione e/o di tracciamento. È dimostrato che l'analisi può essere effettuata attraverso l'uso di tecniche di comparazione, che consentono la stima complessiva degli impatti (diretti, indiretti e ritardati nel tempo) riconducendo le diverse categorie di effetti a livello economico. Dunque, la stima degli effetti prospettici futuri è una fase necessaria per consentire ai manager di adottare decisioni migliori, ponderate e più efficaci rispetto agli obiettivi di crescita e di competitività dell'organizzazione;
- l'individuazione delle migliori modalità di gestione delle valutazioni e delle scelte di investimento relative ai possibili alternativi progetti di innovazione tecnologica, con l'organizzazione e la strutturazione logico-funzionale del processo decisionale, con il coinvolgimento e la partecipazione degli stakeholder, con la raccolta, all'analisi ed alla sistematizzazione delle preferenze umane e con la comunicazione dei risultati. Dunque, attraverso l'adozione di metodi e tecniche specifici è possibile assegnare dei valori alle singole alternative, di ordinarle e, quindi, di stabilire le priorità fra i diversi progetti di investimento;
- la gestione del piano di investimenti che porterà allo sviluppo e alla diffusione di nuove tecnologie, oppure al miglioramento di quelle esistenti o, ancora, ad una discontinuità strutturale rispetto alle stesse, causando anche il cambiamento del sistema socio-tecnologico, nonché il processo di riorganizzazione delle istituzioni e delle imprese. Questa fase comprende il monitoraggio dei feedback, attraverso cui i manager potranno valutare e controllare il complesso degli effetti generati, misurando i risultati positivi e gli effetti indesiderati generati a seguito della reale adozione delle strategie di innovazione tecnologica, anche in relazione alle proprie aspettative previsionali ed alle proprie responsabilità sociali.

L'applicazione relativa all'estrapolazione del trend tecnologico nell'ambito del mercato italiano dell'home video ha consentito di dimostrare l'importanza di effettuare sia il monitoraggio dell'andamento del contesto socio-economico sia delle adeguate previsioni sull'evoluzione del mercato per sostenere il complessivo processo di gestione dello sviluppo tecnologico.

L'attività di ricerca, dunque, ha inteso fornire un utile contributo per migliorare il processo di pianificazione, di sviluppo e di gestione dei progetti di innovazione tecnologica, delle connesse analisi previsionali e valutazioni degli effetti del cambiamento che questi comportano sulle persone, sulla società, sui prodotti, sui servizi, nelle organizzazioni. In effetti, i manager che

prendono le decisioni di investimento devono avere chiaro il quadro dei possibili scenari presenti e futuri collegati allo sviluppo tecnologico, che ha assunto una sempre più forte rilevanza socio-economica e che rappresenta un fattore chiave nel processo decisionale poiché genera effetti importanti sulla produttività delle imprese e degli Stati e sulla competitività degli stessi su scala nazionale ed internazionale.

## **BIBLIOGRAFIA**

AA. VV. (1998). Pioneering New Technologies: Management Issues and Challenges in the Third Millennium. International Conference on Engineering and Technology Management. IEMC '98 Proceedings.

A.A.V.V. (2001). Managing Knowledge for Competitive Advantage (Ref. No. 2001/047), IEE Seminar on

R.L. Black, W.J.B. Oldham e W.M. Marcy (1994). "Training KSIM models from time series data". Technological Forecasting and Social Change, vol. 47, n 3, Nov., pag. 293-307

J. F. Coates, V. T. Coates, J. Jarratt, e L. Heinz (1986). Issues Management. Mt. Airy, MD: Lomond

J. C. Fisher e R. H. Pry (1971). "A simple Substitution Model of Technological Change" Technological Forecasting and Social Change, vol. 3, pag. 75-88

S. G. Haines (2000). The Systems Thinking Approach To Strategic Planning and Management. St. Lucie Press.

K. R. Hammond e L. Adelman (1976). "Science, Values, and Human Judgment". Science, vol. 194 (22 October), 389-396

A. Jones, G.L. Kovacich, P. G. Luzwick (2002). Global Information Warfare: How Businesses Governments and Others Achieve Objectives and Attain Competitive Advantages. Auerbach Publications

J. Kane (1972). "A Premier for New Cross-impact Language-KSIM" Technological Forecasting and Social Change, vol. 4, 129-142.

U. Kumar e V. Kumar (1992). "Technological innovation diffusion: the proliferation of substitution models and easing the user's dilemma". IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 39, Issue 2, pag. 158-168

R. R. Levary e D. Han (1995). "Choosing a technological forecasting method". Industrial Management (Norcross, Georgia), v 37, n 1, Jan-Feb, p 14-18

A.J. Lipinski e D. Loveridge (1982). "Institute for the Future's Study of the UK, 1978-95". *Futures*, vol. 14, 205-239.

A.J. Lipinski (1990). "Cross-impact models". *Energy*, vol. 15, n 3-4, March-April, pag. 379-86

N. Maddox, W. Anthony e W. Jr. Wheatley (1987). "Creative Strategic Planning Using Imagery". *Long Range Planning*, vol. 20, no. 5, 118-124.

C. Marchetti (1988). "Darwin and the Future of ISDN", in M. Bonatti e M. Decina (eds.). *Traffic Engineering for ISDN Design and Planning*. (pp. 77-96). New York: North-Holland.

C. Marchetti e N. Nakicenovic (1979). *The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model (Report RR-79-13)*. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis.

J. P. Martino (1983). *Technological Forecasting for Decision Making (2nd ed.)*. New York: North-Holland.

V. Masoni (2002). *La Pratica della valutazione : per chi analizza alternative di processo operativo, investimento, organizzazione, portafoglio progetti, prodotto, policy e per chi deve decidere*. Milano: Franco Angeli.

G. Pennisi e P. L. Scandizzo (2003). *Valutare l'incertezza : l'analisi costi benefici nel 21° secolo*. Torino: Giappichelli.

A. L. Porter e F. A. Rossini (1984). "Interdisciplinary Research Redefined: Multi-Skill Problem-Focused Research in the STRAP Framework". *R&D Management*, vol. 14, 105-111.

A. L. Porter e F. A. Rossini (1987). "Technological Forecasting", in M. G. Singh (ed.) *Encyclopedia of System and Control* (pp. 4823-4828). Oxford: Pergamon Press.

A. L. Porter, F. A. Rossini ed altri (1991). *Forecasting and Management of Technology*. Wiley-Interscience.

M. E. Porter (2004). *Il Vantaggio competitivo*. Torino: Einaudi.

J. D. Roessner e A. L. Porter (1990). "High Technology Capacity and Competition" in M. Chatterji (ed.), *Technology Transfer in the Developing Countries*, pp 94-103. London: Macmillan.

- A. T. Roper (1986). "Mapping Project Scope with Stakeholder Input". Paper presented at the 1986 Annual Conference of the International Association for Impact Assessment, Philadelphia (May 25-30).
- F. A. Rossini e A. L. Porter (1981). "Interdisciplinary Research: Performance and Policy Issues". *SRA Journal*, vol. 13 (Fall), 8-24.
- F. A. Rossini e A. L. Porter (1982). "Forecasting the Social and Institutional Context of Technological Developments". *Proceeding of the International Conference on Cybernetics and Society*(pp 486-490). New York, IEEE.
- F. A. Rossini, A. L. Porter e E. Zucker (1976). "Multiple Technology Assessments". *Journal of the International Society for Technology Assessment*, vol. 2, 21-28.
- R. W. Rumberger e H. M. Levin (1985). "Forecasting and the Impact of New Technologies on the Future Job Market". *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 27, 399-417
- T. L. Saaty e K. P. Kearns (1985). *Analytical Planning: The Organization of Systems*. Oxford: Pergamon Press.
- T. L. Saaty (1990). "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process". *Europ. J. Opt. Res.* 48, pag. 9-26.
- J. G. Stover e T. J. Gordon (1978). "Cross Impact Analysis" in J. Fowles (ed.) *Handbook of Futures Research*. Westport, CT: Greenwood Press.
- D. J. Sumanth (1988). "A total Systems Approach to Technology Management for Inter-Organizational Competitiveness", in T. M. Khalil, B. A. Bayraktar e J. A. Edosomwan (eds.) *Management of Technology I*. (pp. 271-279). Geneva: Interscience Enterprise Ltd.
- J. J. Swain ed altri (1989). "Markov Formulation of Cross-Impact Analysis for Impact Assessment and Forecasting". *Technology Policy and Assessment Center Technical Report*. Atlanta: Georgia Institute of Technology.
- M. Tavana e S. Banerjee (1995). "Strategic Assessment Model (SAM): a multiple criteria decision support system for evaluation of strategic alternatives". *Decision Sciences*, vol. 26, n. 1, Jan.-Feb., pag. 119-43



J. T. C. Teng, V. Grover, e W. Guttler (2002). "Information technology innovations: general diffusion patterns and its relationships to innovation characteristics". IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 49, pag. 13-27

A. Viticoli, A. La Bella, E. Battistoni e G. Assenza (2006). Tesi su "Modello di valutazione di progetti di investimento ad elevata innovatività attraverso l'AHP: il caso SELEX Sistemi Intergrati". Università Roma "Tor Vergata"

K. P. Jr. White e D. J. White (1988). "Framing U.S. Automobile Safety Standards: Can multiple-objective Methods be Justified in Regulatory Policy Making?". Working Paper, Charlottesville: Department of Systems Engineering, University of Virginia.

R. J. Zeckhauser e W. K. Viscusi (1990). "Risk Within Reason". Science, vol. 248 (4 May), 559-564.