

**ASPETTI E MISURE DELLA PRODUTTIVITÀ.
UN'ANALISI STATISTICA SU TRE AZIENDE ELETTRICHE EUROPEE**

Donatella Cangialosi

Febbraio 1996

SUMMARY

Fra le svariate variabili economiche la produttività emerge per l'importanza che essa riveste soprattutto in termini di sviluppo economico.

L'obiettivo di questo lavoro è stato pertanto quello di fare una breve rassegna sulle possibili misurazioni della produttività globale ossia dei principali nonché più utilizzati indicatori esistenti di tale fattore economico, mettendo in evidenza i rispettivi vantaggi e svantaggi derivanti dal loro impiego.

Esaminando alcuni aspetti di tipo teorico-matematico si giunge alla conclusione che la scelta di un numero indice in generale è condizionata - sulla base delle proprietà possedute - dagli obiettivi prefissi in un'analisi e dal significato economico che ciascun indice deve possedere congiuntamente a quello teorico-matematico.

Scegliendo successivamente come misure di produttività totale un numero indice a base fissa e l'indice di Törnqvist calcolati sui dati di tre grandi aziende elettriche europee (Enel, EdF, RWE) nel periodo 1971-1993 e nel sottoperiodo 1980-1993, si è verificato eseguendo un'analisi della regressione multipla che i modelli di regressione adattati nei due casi forniscono stime pressoché uguali e che i risultati non differiscono tra loro, in contrasto con quanto in realtà ci si sarebbe aspettato a conferma delle ipotesi teoriche.

..-..

L'autore desidera ringraziare Diego Margon per l'assistenza informatica, Silvana Zelli e Maria Zittino del Ceris per la predisposizione di grafici e tabelle.

1. INTRODUZIONE

La crescente importanza che un fattore economico, quale la produttività, assume non solo per l'espansione economica di una singola azienda ma a livello aggregato per lo sviluppo economico di un intero Paese, ha indotto ad un'analisi statistico-economica sulla produttività.

Questo lavoro si compone sostanzialmente di tre parti. In una prima parte si esaminano da un punto di vista teorico i concetti e gli strumenti di base che si rendono fondamentali in uno studio sulla produttività.

Nella seconda parte si discute il problema della sua misurazione, nonché i diversi tipi di indicatori esistenti (da quelli di produttività parziale a quelli di produttività globale) e si procede ad un confronto - in base alle proprietà possedute e al rispetto di alcune condizioni di tipo matematico-statistico - tra alcuni numeri indici della produttività totale.

Infine la terza parte è dedicata ad una applicazione statistica in cui si esamina l'andamento della produttività globale nel periodo 1971-1993 e nel sottoperiodo 1980-1993 di tre grandi aziende elettriche europee: ENEL, EDF e RWE. Eseguendo un'analisi della regressione multipla si è cercato di verificare quale fattore produttivo fra quelli considerati (lavoro, capitale, combustibile) assume il maggiore peso relativo nella determinazione della produttività e se, utilizzando a tale scopo, due numeri indici della produttività (scelti sulla base dei criteri definiti nella parte teorica) questi forniscono le stesse stime o conducono altrimenti a risultati differenti.

2. CONCETTI E STRUMENTI DI BASE

Negli ultimi anni è stato avviato in tutti i Paesi della CEE - per iniziativa della Comunità Europea - un progetto di ristrutturazione dei mercati ed in particolare forme di regolamentazione nei servizi di pubblica utilità, nonché la privatizzazione di alcuni di essi.

Tale iniziativa nasce dalla considerazione che laddove l'intervento dello Stato nell'economia non è stato in grado di garantire la piena efficienza a causa di motivi sia politici sia economici che guidano le sue scelte - così da allocare le risorse disponibili nel mercato e per ogni settore in modo non sempre ottimale, causando delle perdite in termini di efficienza - si rende necessaria l'introduzione di un assetto competitivo e la contemporanea regolamentazione dei settori che forniscono tali servizi (energia elettrica, telecomunicazioni, gas, acqua).

In questo lavoro si è rivolta l'attenzione, in particolare nella parte applicativa, al settore dell'industria elettrica. Facendo pertanto riferimento ad un precedente studio¹ in cui viene esaminato il modo in cui il tipo di regulation influisce sulla performance della produttività totale di tre grandi aziende elettriche: ENEL, EdF e RWE, si è pensato di condurre un'analisi statistica sulla produttività di queste tre aziende. Le prime due aziende sono monopoliste integrate verticalmente, l'azienda tedesca è invece una società mista, di proprietà in parte pubblica ed in parte privata.

In questa prima parte si esaminano i concetti sulla produttività prendendo in considerazione i fattori che la influenzano. Essendo d'altra parte quest'ultima legata ad un confronto temporale e spaziale tra il valore della produzione e il valore dei fattori produttivi impiegati non può prescindere dalla nozione di funzione di produzione; in funzione di essa e degli indici che è possibile costruire, si possono interpretare le modificazioni subite dalla produttività. Per tale motivo si farà un breve richiamo al concetto di funzione di produzione.

2.1 NOZIONE DI PRODUZIONE E PRODUTTIVITÀ

Prima di esaminare la natura e i problemi di misurazione degli indicatori di produttività con le relative proprietà per scegliere poi quello più adeguato alla situazione analizzata, sarebbe opportuno delineare il quadro teorico su cui verte l'analisi microeconomica della produzione.

È opportuno a questo punto distinguere fra i due termini di 'produzione' e 'produttività'. Dal punto di vista economico la *produzione* è quell'attività che trasforma un determinato paniere di beni aventi una certa utilità in un altro paniere di beni aventi un'utilità complessiva maggiore. Tali trasformazioni possono essere poi di tipo: tecnologico, spaziale e temporale.

La *produttività* di un dato ammontare di risorse è invece il rapporto tra l'ammontare del prodotto ottenuto (output) e l'insieme dei fattori impiegati per ottenerlo (input). Quindi entrambi i termini denotano lo stesso concetto - quello di attività produttiva - con la differenza che la produttività, intesa come somma di produttività totale ed efficienza, rappresenta una misurazione quantitativa di tale attività.

La misurazione della produzione non presenta difficoltà quando è riferita a beni omogenei, pone bensì problemi di aggregazione o di altro nei casi in cui i beni sono

¹ Fraquelli G., Vannoni D., Regulation and Total Productivity Performance in Electricity: A Parallel Comparison between Italy, Germany and France, Paper presented at the Berlin Workshop, 27-28 October 1995

eterogenei o si richiede di considerare anche quegli effetti connessi al processo produttivo che non ne costituiscono il risultato principale.

Anche i fattori produttivi - principalmente lavoro e capitale - indispensabili per realizzare la produzione pongono problemi di individuazione e di valutazione. Il lavoro e il capitale innanzitutto non sono sempre i soli input primari necessari a produrre, non sono omogenei al loro interno poiché il capitale è composto da attrezzature e impianti appartenenti ad epoche differenti incorporanti tecnologie diverse; per quanto riguarda il lavoro anche la sua qualità varia nel tempo, sia per la qualificazione della forza lavoro (dovuta ai miglioramenti della preparazione scolastica e ai corsi di aggiornamento e perfezionamento delle imprese) sia per la sua composizione (in alcuni settori soprattutto si è andato modificando il peso dei ruoli all'interno di un'impresa, assistendo così ad una riduzione dell'incidenza della forza lavoro non qualificata sul totale).

Tali caratteristiche suggeriscono l'esistenza di problemi di misurazione degli input soprattutto per quanto riguarda la valutazione della variazione della loro qualità nel tempo; per misurare correttamente il loro contributo all'attività produttiva bisogna considerare il loro effettivo utilizzo. In funzione dei fattori produttivi primari impiegati è possibile inoltre costruire la funzione di produzione la quale consente unitamente agli indici di produttività di spiegare i fenomeni sottostanti all'andamento della produttività nel tempo.

La funzione di produzione rappresenta l'insieme di tutti i processi di produzione efficienti che un'impresa può attuare, ossia la massima quantità di output ottenibile per ogni data combinazione di input.

Gli input da impiegare per produrre un determinato bene vengono scelti in base alla tecnologia esistente, la quale non è altro che l'insieme delle conoscenze disponibili - in un dato sistema economico e in un certo istante di tempo - per produrre un determinato prodotto, utilizzando a tal scopo metodi di produzione alternativi. Nell'ambito della tecnologia l'impresa dovrà scegliere poi la tecnica da utilizzare effettivamente per la produzione di quel bene, conformemente al principio della massimizzazione del profitto e alle caratteristiche del mercato in cui opera.

Le caratteristiche della tecnologia assumono dunque rilevanza, poiché pongono una serie di vincoli - attraverso le conoscenze tecniche e scientifiche - al libero agire delle imprese sul mercato.

Si può osservare inoltre che nel tempo a causa dei miglioramenti sia della qualità dei prodotti (product innovation) sia della loro quantità da un dato ammontare di risorse (process innovation), l'aumento complessivo del prodotto finale non è unicamente imputabile ad un aumento dei fattori produttivi impiegati per la sua realizzazione, bensì è spiegabile mediante un "fattore residuale": il *progresso tecnico*.

Si pone pertanto il problema di distinguere a livello aggregato tra aumenti di produttività imputabili a modificazioni nell'allocazione delle risorse interne ed aumenti frutto di innovazioni tecnologiche. D'altro canto si può distinguere il progresso tecnico come risultato di innovazioni vere e proprie o come manifestazione di aumenti di produttività determinati dal maggiore grado di utilizzazione della capacità produttiva, da migliorate economie di scala, da una maggiore esperienza nell'esecuzione dei processi produttivi.

Per tenere conto di tutti questi fattori che influenzano il livello della produttività totale, sono stati elaborati modelli di funzione di produzione aggregata² nei quali si tenta di misurare la parte di incremento del prodotto attribuibile ai fattori produttivi da quella imputabile al progresso tecnico. (In questo fattore si racchiudono il grado di utilizzazione della capacità produttiva, i miglioramenti qualitativi delle risorse, le economie di scala e le innovazioni tecnologiche vere e proprie).

Da un punto di vista metodologico l'aggregazione delle funzioni di produzione relative alle singole imprese in una unica funzione aggregata relativa all'intera economia nazionale o a livello di industrie richiede il rispetto di una serie di condizioni difficili da ottenere (es. funzioni lineari ed omogenee di primo grado identiche per ogni singola impresa, distribuzione dei fattori produttivi efficiente in modo che per tutte le imprese risulti uguale la produttività marginale dei fattori e non si pongano di conseguenza problemi di riallocazione delle risorse).

Per questo motivo la funzione di produzione macroeconomica non è di tipo 'deterministico', derivata cioè analiticamente dalla sommatoria delle funzioni di produzione delle singole imprese che concorrono alla produzione aggregata, bensì è una funzione 'statistica' poiché date alcune relazioni microeconomiche e un certo processo di aggregazione delle variabili, essa fornisce la migliore - anche se imperfetta - rappresentazione del fenomeno atto a interpretare i dati aggregati.

A livello aggregato muta però, l'analisi stessa del progresso tecnico. Infatti, mentre in un ambito microeconomico tale residuo si riferisce prevalentemente ad innovazioni nei processi tecnologici e organizzativi di produzione; a livello macro l'accezione del progresso tecnico si estende in larga misura, prendendo in considerazione altre componenti (per esempio, la diversa allocazione delle risorse interne tra singoli settori industriali ed imputabile anche alla diversa struttura) che non riguardano né innovazioni di nuovi beni né miglioramenti nella qualità dei beni già esistenti.

² F. Momigliano, *Economia industriale e teoria dell'impresa*, Il Mulino, 1975

3. I NUMERI INDICI PER L'ANALISI DELLA PRODUTTIVITÀ

3.1 PREMESSA

La misura della produttività viene realizzata attraverso il ricorso ai numeri indici poiché essi consentono di rilevare i mutamenti da essa subiti nel corso del tempo e di scoprire di conseguenza gli effetti delle innovazioni che vi hanno contribuito.

Il problema dei numeri indici è stato vivacemente discusso (e continua ad esserlo) sia per quanto riguarda la 'teoria' dei numeri indici che fa riferimento alla definizione dei concetti da misurare e ai metodi e alle formule più opportune, sia riguardo alla 'pratica' dei numeri indici che analizza i problemi inerenti la rilevazione delle informazioni indispensabili per la costruzione di misure empiriche attendibili³.

Gli studi sui numeri indici hanno dato comunque luogo alla creazione di diversi indicatori per ogni diverso concetto (consideriamo qui solo la produttività); è stata messa così in evidenza l'importanza cruciale da essi rivestita in quanto condizionano le decisioni degli operatori economici, nonché la politica economica e sociale di un Paese.

Analizzando i vari indici si può affermare che non esiste un'unica formulazione dell'indice sintetico da preferire, valido in qualunque situazione e qualunque sia il concetto da misurare. In base alle proprietà possedute da ciascun indice si sceglie quello più soddisfacente in funzione dell'obiettivo specifico che si persegue.

3.2 CONCETTI E MISURE SULLA PRODUTTIVITÀ

La produttività è definita in genere come il rapporto tra il risultato conseguito attraverso una attività di produzione (output) e i fattori produttivi impiegati per realizzarla (input). Il miglioramento del rapporto che si può verificare in un certo intervallo temporale tra prodotto ottenuto e mezzi utilizzati rivela un aumento di efficienza e/o di produttività totale. La produttività pertanto può essere intesa come una misura reale della bontà con cui si realizza un determinato prodotto⁴. Essa può essere misurata mediante i seguenti indicatori:

- 1) indicatori di produttività parziale;
- 2) indicatori di produttività globale;

³ L. Biggeri, "Recenti sviluppi nel campo dei numeri indici", in *Rassegna della letteratura sui cicli economici*, n.1-2/1986

⁴ OCSE, *La produttività nell'industria*, a cura di G.Alberghini (1992)

- 3) indici di efficienza ottenuti da modelli tradizionali di funzioni di produzione (o di costo) .

Gli indicatori di produttività parziale sono costruiti rapportando l'output ottenuto mediante il processo produttivo rispetto ad uno solo dei fattori produttivi (lavoro, capitale, materie prime); pertanto essi sono anche definiti "produttività medie", in quanto misurano il risultato dell'attività intrapresa per unità di fattore impiegato.

Gli indicatori di produttività globale confrontano di contro, l'ammontare degli output ottenuti con l'insieme delle risorse impiegate per produrli. Questi ultimi indicatori sono in genere da preferire da un punto di vista teorico in una analisi sulla produttività, poiché prendendo in considerazione tutti i fattori produttivi che contribuiscono ad una attività produttiva consentono di tenere conto di eventuali fenomeni di sostituzione fra di essi, fornendo così una maggiore attendibilità e significatività dei risultati, ossia della perizia con cui l'operatore economico studiato realizza il processo produttivo.

Il ricorso invece ad indici di efficienza per ricavare informazioni sul livello di produttività rappresenta un modo alternativo per avere indicazioni utili - anche se non esaustive - sulla produttività⁵, essendo quest'ultima un concetto più generale e più aggregato rispetto alle possibili nozioni di efficienza.

3.2.1 MISURE DI PRODUTTIVITÀ PARZIALE

Gli indicatori di produttività parziale anche se più insoddisfacenti rispetto a quelli globali potrebbero essere preferiti da un punto di vista empirico, poiché non pongono la difficoltà di misurazione di alcuni input e la scelta del metodo di aggregazione; con essi si ha una certa libertà di misura dei fattori produttivi i quali, se è infatti ammissibile l'ipotesi della loro omogeneità, si possono misurare sia in unità fisiche sia in unità monetarie.

La produttività del lavoro - definita come il rapporto tra l'ammontare complessivo della produzione realizzata e la quantità di lavoro impiegata (Y/L) - è l'indicatore di produttività parziale più frequentemente utilizzato sia nelle analisi cross-section sia in quelle temporali, poiché l'aumento di quantità di prodotto finito che ogni lavoratore è in grado di realizzare rappresenta un indice del progresso economico di una collettività (ossia l'aumento delle ricchezze disponibili).

Esistono diversi modi per misurare tale indicatore secondo le modalità di espressione dell'input o dell'output e per la cui costruzione sono sufficienti i dati sul prodotto e sulla quantità di lavoro impiegata nel processo produttivo. Per misurare quest'ultima grandezza è possibile impiegare il numero di ore effettivamente lavorate

⁵ A. Lemmi, A. Quaranta, A. Viviani, *La misura della produttività: questioni di metodo ed evidenze empiriche*, Università degli Studi di Siena, Serie di Rapporti Tecnici, n.1/1991

ottenendo così una misura della produttività oraria del lavoro o in alternativa il numero degli addetti. In genere si tende a preferire il numero delle ore lavorate poiché una misura basata sul numero di addetti potrebbe essere distorta da divergenze nelle ore di lavoro pro-capite prestate, nonché dal fatto che il lavoro è svolto da diverse categorie di addetti (operai, impiegati, dirigenti) con mansioni e retribuzioni differenti, le quali implicano diversi livelli di costo per l'impresa.

Un altro indicatore parziale di produttività è quello riferito al capitale, il cui uso è diventato sempre più frequente in tempi recenti poiché la conoscenza dell'aumento delle quantità prodotte, in seguito ad una variazione del capitale impiegato (ossia del fabbisogno di investimento necessario per realizzare un certo incremento del reddito nazionale), rappresenta una fase fondamentale delle teorie e delle politiche dello sviluppo economico.

Anche per il capitale si pongono problemi di misurazione. Dal punto di vista dell'analisi della produttività si considera soltanto lo stock di beni materiali durevoli (impianti, macchinari, fabbricati, mezzi di trasporto) che ciascuna impresa impiega per realizzare una attività produttiva. La valutazione dello stock di capitale fisso disponibile in un certo settore industriale o nell'intero sistema economico può essere effettuato attraverso due metodi:

- rilevazione diretta;
- ricostruzione dello stock di capitale mediante informazioni sull'ammontare degli investimenti e dei ritiri delle componenti esaurite o obsolete.

Le rilevazioni dirette sono raramente impiegate poiché troppo onerose; i dati relativi agli investimenti sono invece abbastanza dettagliati ma non sono accompagnati da una uguale precisione sull'ammontare dei ritiri le cui informazioni sono pressoché inesistenti.

Pertanto lo stock di capitale viene stimato partendo dai dati sugli investimenti e ponendo delle ipotesi sull'andamento nel tempo dei ritiri dei beni capitali. A tale scopo si ricorre generalmente al *metodo dell'inventario permanente*. Esso consiste nel supporre che ciascun bene capitale venga ritirato non appena raggiunge la vita media stimata per la classe di beni cui appartiene. Pertanto lo stock di capitale relativo ad un determinato anno viene stimato sommando al valore posseduto nell'anno precedente, l'ammontare degli investimenti e sottraendo l'ammontare dei ritiri stimato con il metodo dell'inventario permanente.

Definito dunque con C_t lo stock di capitale da stimare al tempo t , con C_{t-1} lo stock relativo all'anno precedente, con I_t l'ammontare degli investimenti al tempo t e con R_t l'ammontare dei ritiri stimato al tempo t , si ha:

$$C_t = C_{t-1} + I_t - R_t$$

L'uso di tale metodo comporta una difficoltà con riferimento alla misura della produttività. Un eventuale incremento dell'efficienza dei beni capitali nel tempo (progresso tecnico incorporato) infatti, induce sia un accorciamento della vita media dei beni capitali sia un incremento negli investimenti; ciò comporterà - seguendo il metodo dell'inventario permanente - un aumento dello stock di capitale stimato in quell'anno. L'indicatore di produttività parziale risultante, come pure quello di produttività globale, fornirà pertanto una valutazione distorta (cfr. Miller 1983) a causa della sopravvalutazione dell'ammontare di capitale impiegato.

Qualora l'analisi della produttività venga condotta all'interno di una azienda, la valutazione dello stock di capitale fisso può essere effettuata in maniera abbastanza accurata per via della disponibilità di dati analitici sull'ammontare degli investimenti e sulla vita effettiva dei vari cespiti.

È importante inoltre notare che la definizione dell'output deve risultare coerente con la natura degli input di cui si intende misurare la produttività; così nel caso della valutazione della produttività del lavoro o del capitale, la misura di output da utilizzare è il valore aggiunto. Gli indici di produttività parziale possono essere inoltre suddivisi in due gruppi:

- indici di produttività parziale generica dei fattori: essi mettono in relazione il prodotto complessivo con la quantità di input impiegata (per es. lavoro o capitale);
- indici di produttività parziale specifica dei fattori: mettono in relazione le quote di prodotto attribuibili a ciascun fattore con le quantità rispettivamente utilizzate o dell'uno o dell'altro⁶.

Tali indicatori possono essere misurati sia in termini fisici sia in termini monetari; nel caso in cui però i beni prodotti siano di tipo eterogeneo occorre misurare necessariamente l'output in valore o mediante indici di quantità: Questa condizione (valutazione in termini monetari) deve essere sempre rispettata invece, per le misure di produttività globale poiché ciascuna di esse raggruppa fra loro fattori disomogenei.

La struttura degli indici di produttività parziale prescinde però, dall'identificazione di una forma funzionale in grado di spiegare congiuntamente il raggiungimento di una certa quantità di prodotto, partendo da una data combinazione di fattori produttivi. Questa circostanza non consente di tenere conto di eventuali fenomeni di sostituzione fra input. La struttura relativamente semplice rende abbastanza rapido il

⁶ A. Lemmi, A. Quaranta, A. Viviani, op. cit.

calcolo di tali indici, facilitato anche dalla reperibilità di dati attendibili su almeno uno dei fattori produttivi; tale semplicità spesso conduce però ad una scarsa attendibilità dei risultati.

A causa delle caratteristiche appena enunciate, le misure di produttività parziale non possono essere correttamente interpretate come indici di efficienza. Infatti, per esempio un aumento nell'indice di produttività del lavoro potrebbe essere attribuito non soltanto ai maggiori sforzi compiuti dai lavoratori, ma soprattutto all'impiego di quantità particolarmente elevate del capitale. Essendo inoltre una misura parziale, il valore ottenuto potrebbe discostarsi notevolmente dall'effettivo livello di produttività raggiunto nel complesso.

Per superare di conseguenza gli inconvenienti presentati dagli indici parziali, nonché per misurare la reale efficienza di un singolo settore industriale o dell'intero sistema produttivo - intesa come la capacità di migliorare la produttività complessiva delle risorse impiegate - nasce l'esigenza di costruire indicatori di produttività totale.

3.2.2 MISURE DI PRODUTTIVITÀ GLOBALE

La produttività totale è stata già definita come un confronto fra quanto è stato prodotto (output) e l'insieme di tutti i fattori produttivi impiegati per ottenerlo (input). Il miglioramento del rapporto fra la produzione realizzata ed i fattori utilizzati segnala un aumento di efficienza. L'aumento della produttività globale rivela pertanto, una migliore efficienza nell'uso di tutti i fattori di un processo produttivo.

A fronte di tale definizione si tende a preferire un indicatore di produttività totale rispetto ad indicatori parziali; la sua maggiore accuratezza e completezza nel tenere conto di tutti gli input impiegati per realizzare la produzione, fornisce una misura più attendibile dell'attività produttiva. Si può in particolare osservare che la produttività totale aumenta se migliora l'intero processo produttivo mediante l'adozione di tecnologie più avanzate o pratiche di management che conducono ad un uso più efficiente delle risorse disponibili⁷. Pertanto essa rappresenta la migliore espressione dell'efficienza dell'attività economica e delle prospettive di crescita a medio e lungo termine.

La determinazione della produttività globale - in base alla definizione data - prevede il calcolo di due numeri indici: il numero indice dei prodotti e il numero indice dei fattori. Ossia indicando con Q ed F rispettivamente le quantità ottenute e i fattori impiegati, con 0 e t i periodi di tempo presi come riferimento per confrontare le variazioni intervenute nel tempo (questo nel caso in cui si esegua un'analisi temporale

⁷ G. Alberghini, op. cit.

sulla produttività), l'indice di produttività totale sarà espresso genericamente dalla seguente formula:

$$IPG_t = \frac{(Q_t/F_t)}{(Q_0/F_0)} = \frac{(Q_t/Q_0)}{(F_t/F_0)} = \frac{IQ_t}{IF_t}$$

La costruzione di un tale indicatore se da un lato risolve alcuni problemi connessi alle misure parziali di produttività, dall'altro pone altre difficoltà con riferimento a:

- necessità di reperire dati attendibili su tutti gli input;
- misurazione di alcuni fattori produttivi (in particolare il contributo del capitale in un processo produttivo, già trattato nel precedente paragrafo);
- metodi (più adeguati) di aggregazione dei diversi input impiegati e, nel caso di produzione congiunta, dei vari output.

Per quanto attiene all'ultimo punto si può osservare che il problema relativo alla scelta del metodo più opportuno per l'aggregazione dei vari input deve essere risolto facendo riferimento alla funzione di produzione sottostante al processo di produzione esaminato.

Essendo infatti, la funzione di produzione una relazione che esprime in che maniera sono legati gli input e gli output di un determinato processo, la sua conoscenza risulta determinante al fine di costruire l'indicatore di produttività globale più opportuno. Ciò significa che ogni funzione di produzione conduce ad indici di TFP diversi, in seguito ai diversi procedimenti di aggregazione di input ed output indicati da ogni specifica forma funzionale.

3.3 ASPETTI TEORICI SUI NUMERI INDICI

Il crescente interesse nei confronti dei numeri indici è attribuibile fondamentalmente a quattro cause:

- a continua variazione dell'inflazione mondiale ha accresciuto l'esigenza di misure delle variazioni dei prezzi all'interno dei vari paesi;
- l'instabilità dei tassi di cambio ufficiali e il divario esistente fra nazioni economicamente più sviluppate e quelle meno sviluppate ha reso necessarie stime più attendibili della parità del potere di acquisto e di confronti spaziali e temporali del reddito reale;
- lo sviluppo economico e la sua dinamica hanno aumentato l'esigenza di misure sempre più precise della produttività;

- i progressi della teoria economica e i perfezionamenti dei metodi di stima hanno consentito lo studio della relazione fra indici statistici ed economici.

Da un punto di vista teorico si distinguono infatti due approcci nella costruzione dei numeri indici: l'approccio statistico (o classico) in cui prezzi e quantità sono considerati variabili indipendenti e l'approccio economico (o funzionale) in cui si assume che fra prezzi e quantità esistano determinate relazioni⁸.

Agli indici statistici non può essere attribuito un significato economico teorico poiché (facendo riferimento, in particolare, ai numeri indici dei prezzi) ipotizzano che il paniere delle quantità - in un dato intervallo di tempo - non vari al variare dei prezzi, fornendo pertanto delle informazioni da interpretare con molta cautela. Tale ipotesi, anche se accettabile nel breve periodo, è alquanto estrema nell'ambito della teoria economica - e soprattutto inaccettabile per intervalli di tempo medio-lunghi - in cui non è ammissibile che il soggetto economico non reagisca a variazioni dei prezzi modificando la struttura delle quantità acquistate consumate o prodotte.

Di contro nell'approccio economico si tiene conto della reazione del consumatore, il quale in seguito ad una variazione dei prezzi relativi tende a modificare il mix delle quantità consumate. Si suppone inoltre, che il suo comportamento sia 'ottimale', cioè rivolto a trarre la massima soddisfazione dai beni acquistabili nel periodo base e a mantenerla con la minore spesa possibile. Per costruire un indice di tipo economico è necessario specificare la funzione di utilità e in alcuni casi questa è accompagnata da un sistema di funzioni di domanda che spiegano il comportamento del consumatore, dal quale deriva implicitamente la funzione di utilità⁹.

3.3.1 SCELTA DELLA FORMULA SECONDO L'APPROCCIO STATISTICO

I generici indici elementari (o semplici)¹⁰ possono essere ottenuti imponendo opportune condizioni all'indice sintetico di volta in volta prescelto per rappresentarli. Tali condizioni sono: l'approssimazione, l'equivalenza e la verifica dei tests di Fischer.

Approssimazione. In base a tale condizione un qualunque indice sintetico (riferito, per esempio, ad n beni e servizi) può essere stimato mediante un modello di regressione lineare semplice del tipo:

⁸ L. Biggeri, op. cit.

⁹ Per ulteriori approfondimenti si veda G. Marbach, op. cit.

¹⁰ Tali indici si possono indicare genericamente nella forma: $i_t = x_t/x_0$ dove x_t ed x_0 rappresentano i valori al tempo t e al tempo 0 di una serie storica di dati relativi al fenomeno che si intende misurare.

$$f ({}_0i_{kt}) = f ({}_0I_t) + u_k \quad \forall k= 1,2,\dots,n$$

dove u_k è una variabile casuale con le seguenti caratteristiche:

- 1) $E(u_k)=0$
- 2) $\text{var}(u_k)=\sigma^2 \quad \forall k=1,2,\dots,n$
- 3) $\text{cov}(u_i, u_j)=0 \quad \forall i \neq j$

La terza ipotesi implica che le variabili stocastiche devono risultare incorrelate fra loro, anche se da un punto di vista economico sembra inaccettabile; essa è però una condizione fondamentale affinché si possa applicare un modello di regressione. (Quando ciò non accade si ricorre a metodi che eliminino la multicollinearità, es. analisi fattoriale, regressione stepwise). La stima di ${}_0I_t$ si ottiene come media aritmetica semplice o ponderata degli indici elementari. Tale impostazione è interessante da un punto di vista metodologico poiché consente di: stimare la varianza di ${}_0I_t$, determinare intervalli di confidenza per le stime ${}_0I_t$ ed applicare tests di verifica di ipotesi nell'ambito dei numeri indici.

Equivalenza. Considerata sempre una serie di numeri indici, tale condizione impone che:

$$F ({}_0i_{1t}, {}_0i_{2t}, \dots, {}_0i_{nt}) = F ({}_0I_t)$$

essa indica cioè che si deve sostituire ad una serie di n indici elementari un unico indice sintetico che non alteri la misura della variazione relativa intervenuta in una funzione F (invariante) rispetto alla quale si formula il giudizio di equivalenza. Per potere attribuire un concreto significato economico all'indice sintetico così ottenuto (${}_0I_t$) è necessario che l'invariante esprima un concetto economicamente rilevante. Dovendo inoltre la condizione di equivalenza essere definita in relazione allo scopo per il quale si vuole calcolare l'indice, questa impostazione guida alla scelta del tipo di media da utilizzare per l'indice stesso.

Nel caso dell'indice di Laspeyres dei prezzi, per esempio, la condizione di equivalenza si esplicita nella determinazione di un invariante che conduce all'indice sintetico (I^L) come media aritmetica ponderata di indici elementari (dei prezzi) con una struttura dei pesi che dipende dalla posizione del soggetto economico. Ossia la quantità invariante per l'indice dei prezzi di Laspeyres è la seguente: $\sum_k p_{kt}q_{k0} = \sum_k {}_0i_{kt} p_{k0}q_{k0}$; essa assume che il soggetto non modifichi le quantità (consumate, acquistate o prodotte) al tempo t in seguito ad una variazione dei prezzi tra il tempo 0 e il tempo t . A questo punto è naturale domandarsi: questo invariante ha un concreto significato economico? La

risposta dipende dalle finalità dell'analisi; in funzione degli obiettivi di quest'ultima si sceglie un indice che soddisfi determinate condizioni economiche.

Tests di Fischer. I tests o proprietà di Fischer rappresentano un criterio logico molto valido per la stima dei numeri indici e dunque per valutare la loro validità nel rappresentare un determinato fenomeno. Tali condizioni teoriche razionali - di seguito riportate - sono quelle che un numero indice dovrebbe rispettare per potere essere considerato "ideale", ossia migliore e preferibile rispetto ad altri.

- Identità : ${}_t I_t = 1$
- Reversibilità rispetto al tempo : ${}_0 I_t \cdot {}_t I_0 = 1$
- Circolarità (o transitività) : ${}_r I_s \cdot {}_s I_t = {}_r I_t \quad \forall r \neq s \neq t \quad (r, s, t = 0, 1, 2, \dots T)$
- Reversibilità debole rispetto ai fattori : ${}_0^P I_t \cdot {}_0^Q I_t = {}_0^V I_t$, dove ${}^P I$, ${}^Q I$, e ${}^V I$ indicano rispettivamente l'indice dei prezzi, delle quantità e di valore;
- Reversibilità forte rispetto ai fattori : ${}_0^{P^*} I_t \cdot {}_0^{Q^*} I_t = {}_0 I_t$, dove l'asterisco indica che gli indici devono essere espressi con la stessa formula;
- Commensurabilità : modificando l'unità di misura in cui sono espressi i prezzi dei beni e servizi l'indice deve rimanere inalterato;
- Determinatezza : l'indice non deve mai risultare uguale a zero, infinito o indeterminato se il prezzo di un bene risulta nullo;
- Proporzionalità : se tutti i prezzi cambiano nella stessa proporzione, il numero indice dovrà risultare uguale al fattore di proporzionalità.

Nel campo dei tests sono state recentemente esplicitate due importanti proprietà cui dovrebbero soddisfare i numeri indici:

- Tipicità: stabilisce che le strutture dei pesi devono (corrispondere strettamente) essere 'tipiche' delle situazioni confrontate (condizione fondamentale per le analisi spaziali);
- Coerenza aggregativa: data una serie di indici elementari, gli indici sintetici calcolati a diversi livelli di aggregazione devono risultare 'coerenti' con l'indice generale e calcolati tutti con la stessa formula e lo stesso sistema di pesi in modo che, l'aggregazione degli indici parziali conduca al medesimo risultato (per l'indice generale) che si otterrebbe aggregando direttamente gli indici elementari.

Considerando che, poiché non esiste una formulazione ottima di un numero indice, ossia un indice ideale da preferire in qualunque situazione e come tale universalmente applicabile, i singoli tests di Fischer si rivelano utili nel giudicare la validità e l'applicabilità di ognuno di essi. L'insieme di questi tests risultano consistenti con la teoria statistica dei numeri indici nel caso in cui alcuni tests 'forti' (circolarità e reversibilità) vengono sostituiti con la corrispondente versione 'debole'¹¹.

¹¹ W. Eichhorn, "Fischer's tests Revisited", in *Econometrica*, n.44, 1976, pp.247-56

Nel seguito esamineremo gli indici statistici ed economici più utilizzati: Laspeyres, Paasche, Fischer, Divisia e Törnqvist, illustrando le rispettive caratteristiche.

3.3.2 INDICI DI LASPEYRES E DI PAASCHE

Molti degli indici comunemente utilizzati nell'analisi della produttività totale si basano su adattamenti degli indici di Laspeyres e di Paasche.

Indicando pertanto, con $TFP_{0,t}$ l'indice di produttività totale determinato nell'intervallo di tempo fra 0 e t, con X_i ed Y_j rispettivamente i fattori produttivi impiegati e le quantità di prodotto ottenute, con w_i e p_j i rispettivi prezzi, possiamo scrivere l'indice di produttività globale di Laspeyres come il rapporto tra il numero indice del prodotto totale e il numero indice degli input valutati in base ai prezzi dell'anno base:

$${}_0I_t^L = TFP_{0,t} = \frac{\sum_{j=1}^n p_j^0 Y_j^t / \sum_j p_j^0 Y_j^0}{\sum_{i=1}^n w_i^0 X_i^t / \sum_i w_i^0 X_i^0}$$

Il riferimento ai prezzi di un anno base richiede necessariamente che i prezzi relativi tra beni e fattori non subiscano modificazioni. Si suppone dunque, il rispetto di condizioni di equilibrio concorrenziale, di minimizzazione dei costi e l'uguaglianza fra le produttività marginali di ciascun fattore con i rispettivi prezzi. In caso contrario i pesi impiegati per la ponderazione delle quantità non avrebbero più alcun significato.

Cambiando il sistema di riferimento dei prezzi, ossia assumendo come termine di confronto i prezzi dell'anno corrente così da tenere conto delle variazioni che possono intervenire nel tempo nei prezzi dei fattori, nei volumi e nella composizione del *mix* produttivo, si ricava l'indice di Paasche:

$${}_0I_t^P = TFP_{0,t} = \frac{\sum_{j=1}^n p_j^t Y_j^t / \sum_j p_j^t Y_j^0}{\sum_{i=1}^n w_i^t X_i^t / \sum_i w_i^t X_i^0}$$

L'indice di Laspeyres si può interpretare economicamente come una misura della variazione relativa del costo di un paniere di beni riferito al tempo base; l'indice di Paasche invece, misura l'analoga variazione per un paniere di beni riferito al periodo corrente.

Il ricorso a tali indici è stato criticato da più parti poiché conduce a sovrastime o sottostime della produttività nel caso in cui non sia garantita la perfetta sostituibilità dei fattori o degli output¹². Inoltre essi, non tenendo conto delle variazioni dei prezzi che intercorrono tra il periodo iniziale e quello finale (poiché viene fatto riferimento ad un solo sistema dei prezzi) nonché delle modificazioni che intervengono nel *mix* del prodotto e dei fattori, possono generare risultati distorti.

Con riferimento ai tests di Fischer, l'indice di Laspeyres e l'indice di Paasche non soddisfano tre proprietà: circolarità, reversibilità rispetto al tempo (o della base) e reversibilità rispetto ai fattori. Il mancato rispetto della circolarità implica l'inadeguatezza di tali indici per confronti multipli in un'analisi temporale, poiché non è possibile mediante l'indice di concatenamento confrontare gli indici relativi a due date non contigue. In tali casi - come vedremo - è preferibile ricorrere all'indice Divisia che, in quanto basato su un sistema di prezzi relativi consente il confronto multiperiodale.

Fischer ha cercato di superare tali inconvenienti proponendo un indice che soddisfacendo il maggior numero di proprietà è stato definito "ideale"¹³. Esso è ottenuto come media geometrica dell'indice di Laspeyres e di quello di Paasche:

$${}_0I_t^F = \sqrt{{}_0I_t^L \cdot {}_0I_t^P}$$

La funzione di produzione sottesa agli indici di Laspeyres e di Paasche è una formulazione di Kendrick del tipo:

$$Y = A (wL + rK)$$

caratterizzata da elasticità di sostituzione dei fattori infinita, dove A rappresenta per Kendrick l'efficienza produttiva¹⁴.

La ricerca della formulazione di un numero indice ideale da preferire sempre ed in qualunque situazione non porterebbe ad alcun risultato soddisfacente proprio perché - come si è già osservato - gli obiettivi variano da un tipo di ricerca all'altra, come pure l'ambiente in cui si agisce.

¹² Si veda in proposito E.W.Diewert, "Exact and superlative Index numbers", in *Journal of Econometrics*, n.2/1976

¹³ L. Biggeri, G.Ferrari, *Il confronto dei valori nel tempo*, in G.Marbach, *Statistica economica*, UTET, Torino 1991

¹⁴ J. W.Kendrick, "Postwar Productivity Trends in the United States: 1948-69", NBER, Columbia, University Press, New York.

3.3.3 INDICI DIVISIA

In alternativa agli indici di Laspeyres e di Paasche sono stati proposti in base ad ulteriori elaborazioni, gli indici Divisia. Essi consentono di superare gli inconvenienti dovuti all'uso di medie ponderate riferite ad un *mix* produttivo di un determinato anno base, scelto come termine di confronto, di godere delle proprietà di circolarità, di riproducibilità¹⁵ e di reversibilità rispetto ai fattori.

Gli indici Divisia si rivelano particolarmente utili in analisi temporali in cui è frequente il ricorso a confronti multipli, il che richiede la disponibilità di indici multiperiodali, i quali possono essere indici a base fissa o a base mobile. Evidentemente gli indici a base mobile (${}_{t-1}I_t$) sono preferibili in quanto consentono il confronto fra due anni non contigui attraverso l'indice concatenato del tipo:

$${}_0I_{t,c} = {}_0I_1 \cdot {}_1I_2 \cdots {}_{t-1}I_t$$

dove ${}_0I_{t,c}$ sarà uguale all'indice "diretto" ${}_0I_t$ se e solo se gli indici a base mobile adottati soddisfano la condizione di circolarità. L'indice Divisia di produttività globale - come tutti gli indici statistici-economici - richiede la presenza di un mercato concorrenziale in cui prezzi e quantità dei singoli prodotti e fattori risultino indipendenti. Pertanto ipotizzando un equilibrio di lungo periodo di concorrenza perfetta, la produzione dovrà risultare pari alla somma dei fattori produttivi (compresa la remunerazione del capitale ed un tasso di profitto normale)¹⁶:

$$\sum_j p_j Y_j = \sum_i w_i X_i$$

attraverso alcune elaborazioni si giunge al seguente indice Divisia:

$$TFP^D = \sum_j \frac{\dot{Y}_j}{Y_j} s_j - \sum_i \frac{\dot{X}_i}{X_i} \phi_i$$

dove $s_j = p_j Y_j / \sum_j p_j Y_j$

$$\phi_i = w_i X_i / \sum_i w_i X_i$$

¹⁵ In base a tale proprietà, un indice Divisia che è ottenuto come media ponderata di indici Divisia discreti è anch'esso un indice discreto.

¹⁶ G. Fraquelli, *Elementi di economia manageriale*, Cap. 5, CUSL, Torino, 1995.

Si possono definire tali indici anche in termini di tasso di variazione della produttività totale dei fattori; essi si ottengono come medie ponderate dei tassi di crescita dei prodotti e dei singoli input, con pesi pari alle quote di valore delle singole componenti sul valore totale (cioè per i fattori il peso è dato dal rapporto tra il costo del singolo fattore e il costo totale; per i prodotti sarà uguale al rapporto tra il ricavo del singolo prodotto e il ricavo totale)¹⁷. In tal caso si esprimeranno l'output e l'input aggregato in termini di tassi proporzionali di crescita :

$$Q^0 = \sum_j \frac{p_j Q_j}{R} Q_j^0$$

$$F^0 = \sum_i \frac{w_i x_i}{C} x_i^0$$

dove :

- p_j = prezzo dell'output j
- Q_j = quantità dell'output j
- Q_j^0 = tasso proporzionale di crescita dell'output j
- $R = \sum_i p_i Q_i$ = ricavo totale
- w_i = prezzo dell'input i
- x_i = quantità dell'input i
- x_i^0 = tasso proporzionale di crescita dell'input i
- $C = \sum_i w_i x_i$ = costo totale

Posto ciò si perviene al tasso di variazione della produttività totale dei fattori espresso mediante indici di Divisia :

$$TFP^0 = Q^0 - F^0$$

Questa relazione misura l'efficienza delle risorse impiegate in un processo produttivo attraverso il divario esistente tra il tasso di variazione dell'output e quello degli input.

Gli indici Divisia rappresentano uno dei metodi più frequentemente utilizzati per l'aggregazione dei fattori produttivi e degli output; essi rispettano infatti più proprietà

¹⁷ A. Lemmi, A. Quaranta, A. Viviani, op. cit.

rispetto ai numeri indici appena esaminati. In particolare essi soddisfano - come abbiamo già detto inizialmente - la proprietà circolare che risulta di fondamentale importanza in un'analisi di serie storiche per effettuare confronti multipli.

Tali indici però presentano vari inconvenienti sia con riferimento a questioni teoriche sia a problemi relativi alle informazioni statistiche necessarie per costruirlo (Biggeri 1984). Infatti essi risultano validi nel continuo in cui si ipotizzano variazioni infinitesimali nel tempo, tuttavia nella pratica le serie storiche dei dati di contabilità nazionale o di impresa sono caratterizzati da intervalli discreti. Per questo motivo sono state costruite delle approssimazioni discrete degli indici Divisia da potere impiegare nella costruzione di una serie di indici a base mobile. L'approssimazione più comunemente utilizzata è quella di Törnqvist. Tale indice è espresso nella seguente forma:

$$TFP_{0,t}^T = \frac{\prod_{j=1}^m (Y_{jt}/Y_{j0})^{1/2(s_{j0}+s_{jt})}}{\prod_{i=1}^n (X_{it}/X_{i0})^{1/2(\phi_{i0}+\phi_{it})}}$$

L'indice Divisia e l'indice di Törnqvist coincidono nel caso in cui le quote relative dei fattori produttivi sul loro costo totale sono costanti. Se ciò non si realizza, l'approssimazione nel discreto implica un errore che dipende dalla variabilità di tali quote e dalla lunghezza dei periodi di tempo considerati.

Ricorrendo all'approssimazione discreta si commettono due tipi di errori. Il primo si commette poiché in ciascun periodo si effettua una approssimazione discreta dei tassi continui di variazione e delle funzioni continue di ponderazione (Trivedi 1981)¹⁸. Il secondo errore è connesso al fatto che il primo errore si cumula nel tempo.

Dagli studi condotti emerge che, nel tentativo di quantificare l'apporto di tutti i fattori produttivi al prodotto finale (cioè la misurazione della produttività) si può giungere a soluzioni non univoche; ciò dipende dal metodo utilizzato per ottenere una media ponderata degli input e dalla scelta della funzione di produzione che si suppone legghi fra loro tecnologicamente i diversi fattori.

Il problema di aggregazione degli input - che abbiamo già trattato - dipende anche dalle variazioni nel tempo della qualità dei fattori e dei prodotti. Pertanto un indice di produttività in cui l'aggregazione dei fattori e dei prodotti viene eseguita con riferimento al sistema dei prezzi di un anno base (v. indice di Laspeyres, Paasche), risulta

¹⁸ P.K. Trivedi "Some Discrete Approximations to Divisia Integral Indices", in *International Economic Review*, n.22, 1981, pp.71-77

accettabile solo se la struttura dei prezzi relativi nei quadri economici da confrontare è abbastanza simile. Ciò accade generalmente nelle analisi cross-section in cui si osservano più imprese operanti nella stessa area geografica in un determinato anno. Se ciò non si verifica poiché i prezzi del periodo temporale (analisi longitudinale) o dell'ambito spaziale (analisi cross-section) scelto come riferimento possono non riflettere le variazioni subite dalle caratteristiche dei beni e dei servizi, in seguito alle innovazioni tecnologiche o all'introduzione di nuovi prodotti o servizi, bisogna ricorrere in tal caso ad indici di produttività costruiti sulla base di sistemi di prezzi diversi.

Gli indici Divisia (nel continuo) e l'indice di Törnqvist (nel discreto) sono ritenuti, pertanto, da molti autori come il metodo di aggregazione migliore in analisi sulla produttività (cfr. Lemmi 1989). Questi indici infatti, oltre a soddisfare alcune importanti proprietà (es. invarianza, indipendenza) in virtù delle quali è possibile studiare lo sviluppo temporale di aggregati economici, sottintendono la funzione di produzione *translogaritmica*¹⁹ che è considerata la migliore forma funzionale per la sua generalità e flessibilità nei casi in cui è di difficile determinazione la funzione di produzione.

¹⁹ Tale funzione, introdotta da Christensen-Jorgenson (1971), è espressa nella seguente forma :

$$\log Q = \log A + a \log K + b \log L + c(\log K)^2 + d(\log L)^2 + f \log K \cdot \log L$$

in cui A rappresenta l'indice di produttività globale, K ed L il capitale e il lavoro rispettivamente; a, b, c, d ed f sono parametri indicanti l'apporto di ciascun fattore produttivo alla tecnologia.

4. APPLICAZIONE

4.1. DATI UTILIZZATI

La disponibilità dei dati relativi a tre grandi aziende elettriche europee: ENEL, EDF e RWE²⁰ per il periodo 1971-1993 per quanto riguarda le prime due e per il sottoperiodo 1980-1993 per la RWE, ha reso possibile un'analisi statistica della produttività globale mediante due diversi indicatori:

- un indice di produttività totale TFP_b ²¹ in cui inputs e outputs sono ponderati in base ai prezzi di un anno base (1993 per Enel e RWE, il 1989 per EdF); esso fornisce dunque una misura della variazione della produttività tra un anno e il successivo;
- indice di Törnqvist.

Lo scopo è quello di mettere in relazione questi indici di produttività globale con tre indicatori di produttività parziale per i quali sono stati resi disponibili i dati (produttività parziale specifica del lavoro, del capitale e dei combustibili) per misurare il grado di dipendenza della produttività totale da ciascuna di queste variabili e vedere quale è la variabile (fra quelle considerate) che ha il maggiore peso nella determinazione della produttività²².

A tale scopo verrà utilizzato un modello di regressione multipla distintamente per l'indice TFP_b a base fissa e l'indice di Törnqvist, per verificare se entrambi forniscono gli stessi risultati con riferimento sia al modello utilizzato sia alle stime di regressione.

²⁰ I dati sono stati tratti dal lavoro di G.Fraquelli e D.Vannoni "Regulation and Total Productivity Performance in Electricity: A Parallel Comparison between Italy, Germany and France", Paper presented at the Berlin Workshop, 27-28 October 1995

$$^{21} TFP_b = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i^t p_i^{t_0} / \sum_i Y_i^{t-1} p_i^{t_0}}{\sum_{h=1}^q X_h^t w_h^{t_0} / \sum_h X_h^{t-1} w_h^{t_0}}$$

²² L'output è espresso nei Gwh prodotti.

Il lavoro è stato misurato mediante il numero medio di addetti in ogni anno. Il capitale è stato stimato con il metodo dell'inventario permanente. Per quanto riguarda i combustibili sono stati considerati i consumi di combustibile e gli acquisti di elettricità; questi ultimi sono espressi in Kwh.

4.2. ADATTAMENTO DELLE FUNZIONI

4.2.1 ANALISI GRAFICA

Si è proceduto inizialmente ad un esame grafico dell'andamento della produttività globale nel tempo delle tre aziende elettriche considerate (Figura 1). Da una prima ispezione grafica si può osservare che sia Enel che EdF mostrano un andamento tendenzialmente crescente della produttività, con la differenza che per la prima l'andamento è un po' più lineare della seconda.

I due diversi indici di produttività utilizzati per le tre aziende evidenziano un andamento dell'indice di Törnqvist più attenuato rispetto a quello di TFP_b . Ciò si può anche verificare esaminando anno per anno i singoli valori degli indicatori stessi (Tab.1). Questo diverso andamento potrebbe essere imputabile alla diversa variabilità dei numeri indici, perché maggiore è lo scostamento dei valori osservati dalla loro media maggiore risulterà la variabilità. Infatti i coefficienti di variazione²³ rispettivamente dell'indice TFP_b e di Törnqvist mostrano che in genere il primo presenta una variabilità più grande. Guardando, per esempio, il caso Enel nel periodo 1971-93 il coefficiente di variazione diminuisce dallo 0.09 allo 0.07 quando si passa dall'indice TFP_b all'indice di Törnqvist (Tab.3).

Tale diversità è riconducibile d'altro canto alla struttura stessa dei due numeri indici. L'indice a base fissa TFP_b utilizzato misura difatti, la variazione dell'energia complessivamente prodotta (in Gwh) rispetto agli input impiegati (lavoro, capitale, combustibili) ponderando tali grandezze sempre rispetto ai prezzi di uno stesso anno base. L'indice di Törnqvist è costruito invece rispetto ai diversi prezzi di ogni variabile rilevati in ogni anno, ossia tiene conto della variazione dei prezzi relativi. Ciò significa che risulta sensibile alle strategie che riducono il peso di quegli inputs divenuti più costosi.

In effetti sia per Enel sia per EdF la migliore performance in termini di produttività parziale è manifestata dal lavoro; tale fattore ha subito nel periodo 1971-93 aumenti dei prezzi più elevati rispetto a quelli degli altri inputs impiegati. Pertanto l'indice TFP_b non tenendo conto dei diversi prezzi relativi fornisce valori leggermente distorti. Tale distorsione è ancora più evidente tra Enel e EdF, per le quali si considerano anni base diversi. Queste affermazioni saranno comprovate analiticamente andando più avanti nell'analisi.

²³ Il coefficiente di variazione è una misura di dispersione che si usa nei casi in cui si confrontano due distribuzioni aventi valori medi differenti; esso infatti elimina la diversità imputabile alle medie delle distribuzioni poste a confronto (genericamente, $CV = Dev.stand./Media$).

Ciò potrebbe essere già una conferma a quanto sostenuto nella teoria, che l'indice di Törnqvist rispetto ad indici a base fissa o a base mobile (tipo Laspeyres o Paasche) fornisce stime migliori in quanto più precise della produttività.

Per quanto concerne la Germania l'andamento della sua produttività globale risulta tendenzialmente decrescente nel periodo 1980-93, come rilevato da entrambi gli indici.

4.2.2 METODO DI ADATTAMENTO

L'analisi grafica appena condotta ci induce ad adattare una funzione di tendenza generale lineare di primo grado per le tre aziende, allo scopo di verificare se la serie storica dei dati relativi ai due numeri indice della produttività considerati possa essere approssimata con una linea retta. La funzione adattata è del seguente tipo:

$$f(t) = a + bt$$

in cui t rappresenta gli anni ed $f(t)$ il numero indice della produttività. Tale funzione viene adattata per Enel e EdF nel periodo 1971-93 e nel sottoperiodo 1980-93; per la RWE si considera soltanto il periodo 1980-93.

In generale l'adattamento di una funzione matematica ai dati statistici di una variabile consiste nel determinare quella funzione che rappresenti la distribuzione statistica depurata dagli immancabili errori casuali e dagli eventuali errori sistematici. Si è impiegato a tale scopo il metodo dei minimi quadrati, il quale presuppone la condizione di minimizzazione della somma dei quadrati degli scarti fra dati empirici (y_i) e dati teorici (\hat{y}_i). La bontà di adattamento del metodo viene giudicata in base ai valori dell'indice R^2 :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}$$

Tale indice può assumere valori compresi tra 0 e 1, quanto più si avvicina ad 1 tanto migliore è l'adattamento. I risultati ottenuti mostrano un ottimo adattamento della funzione ai dati dell'Enel e dell'EdF in entrambi i periodi considerati (Tab.4). Anche se si può notare che nel sottoperiodo 1980-93 i valori di R^2 diminuiscono per l'Enel ed aumentano per l'EdF. Ciò significa che nell'arco temporale che si estende dal 1980 al 1993 la Francia presenta un andamento che pur rimanendo crescente, diventa

tendenzialmente più lineare rispetto al periodo complessivo 1971-93; l'indice R^2 aumenta da 0.88 (per l'indice TFP_b) a 0.95 e da 0.77 (per l'indice TFP_T) a 0.96.

Infatti durante gli anni ottanta EdF mostra un miglioramento della sua performance rispetto ai precedenti anni settanta, imputabile all'aumento della produzione e soprattutto alla riduzione dei costi mediante politiche di 'programming contract'. Tale miglioramento è stato dovuto anche allo sfruttamento dell'energia nucleare che le ha permesso di espandere la produzione e le esportazioni di energia.

Una relazione inversa si rileva invece per l'Enel per la quale i valori di R^2 diminuiscono nel periodo 1980-93 rispetto al periodo complessivo. Ciò è dovuto al fatto che nei primi anni '80 dopo gli ottimi risultati conseguiti nel decennio precedente si è verificata una stagnazione della produttività.

Per quanto riguarda la Germania i valori dell'indice di adattamento R^2 risultano alquanto bassi, ciò significa che la serie dei numeri indici della produttività globale non potrebbe essere approssimata con una funzione lineare. Si è pensato allora di effettuare una trasformazione dei dati, come quella logaritmica, per vedere se si riusciva a linearizzare la distribuzione o quanto meno a migliorare la linearità. Sono stati pertanto trasformati sia gli anni t sia i numeri indici (TFP_b , TFP_T) in logaritmi e la funzione adattata si pone nella seguente forma:

$$\log f(t) = a + \log(t)$$

I valori di R^2 ottenuti mostrano un miglioramento delle stime. Infatti per l'indice TFP_b , R^2 passa da 0.37 a 0.58; per l'indice di Törnqvist R^2 passa da 0.41 a 0.61. Si può osservare per via grafica (Figura 2) come si sia riusciti ad attenuare le forti oscillazioni presentate in alcuni anni.

In conclusione, da un confronto tra gli andamenti della produttività globale (per via grafica e analitica) e gli indici di bontà di adattamento delle funzioni scelte per le tre aziende elettriche considerate nel periodo 1980-93 emerge che EdF presenta la migliore performance, confermando la sua posizione di preminenza come grande monopolio pubblico integrato verticalmente.

4.3. ANALISI DELLA REGRESSIONE MULTIPLA

4.3.1 INTRODUZIONE

Si è pensato - a questo punto - di eseguire un'analisi della regressione multipla considerando come variabile dipendente la produttività globale e come variabili indipendenti le produttività parziali di tre inputs primari: lavoro, capitale, combustibili.

Lo scopo è quello di verificare la relazione esistente tra la variabile dipendente e quelle indipendenti, ossia di vedere come varia la produttività globale al variare di ciascuna produttività parziale, il grado di correlazione esistente tra le variabili e stabilire infine quale è la variabile che assume la maggiore importanza relativa nella determinazione della produttività globale. Sono stati considerati due indicatori di produttività totale (indice TFP_b a base fissa e l'indice di Törnqvist) per verificare se le stime di regressione differiscono tra loro e quindi se conducono agli stessi risultati.

4.3.2 MODELLO ADATTATO

L'equazione di regressione multipla adattata è del tipo:

$$X_1 = a_{1.234} + b_{12.34} X_2 + b_{13.24} X_3 + b_{14.23} X_4 \quad (\text{forma generale})$$

nel caso esaminato poniamo:

$$TFP = a + b_1 P_L + b_2 P_K + b_3 P_F$$

dove TFP è la variabile dipendente rappresentata dal numero indice della produttività totale; P_L, P_K e P_F sono le variabili indipendenti rappresentate rispettivamente dalla produttività parziale specifica del lavoro, del capitale e del combustibile poste a loro volta sotto forma di numeri indici. I coefficienti b_1, b_2, b_3 sono i coefficienti di regressione parziale di ciascuna variabile indipendente rispetto alla variabile dipendente, calcolati assumendo costante il valore delle altre variabili.

Per ogni azienda elettrica sono state calcolate due equazioni di regressione multipla riferite ai due diversi indici di produttività globale nel periodo 1980-1993. Per Enel ed EdF tali equazioni sono state stimate anche nel periodo 1971-93, grazie alla disponibilità dei dati, per vedere se i risultati ottenuti si modificano scindendo il periodo di riferimento e se si sono verificate delle variazioni nelle variabili economiche imputabili a particolari politiche che hanno influenzato la produttività totale.

L'introduzione di più variabili indipendenti nell'equazione di regressione multipla rende necessaria innanzitutto la verifica dell'inesistenza di *multicollinearità*, cioè dell'intercorrelazione tra le variabili indipendenti, poiché essa solleva problemi statistici che possono invalidare la significatività o l'accuratezza della stima lineare. Maggiore è la correlazione tra due variabili, minore sarà il contributo esplicativo di ciascuna di esse al valore di R^2 complessivo; in tal caso una delle due va eliminata. La multicollinearità comporta dunque che più variabili casuali si sovrappongono per spiegare un unico aspetto della variabile dipendente invece che aspetti distinti, in virtù di tale sovrapposizione si ha una eccessiva sensibilità dell'equazione ad errori di misurazione.

L'indicatore di multicollinearità più immediato è il coefficiente di correlazione bivariato tra le variabili indipendenti; a tale scopo si è calcolata la matrice di correlazione (Tab. 5a e 5b) per le tre aziende elettriche nel periodo 1971-93 e nel sottoperiodo 1980-1993. Essa fornisce una prima indicazione sul grado di collinearità tra le variabili; per avere però una stima più precisa della eventuale distorsione sui coefficienti provocata dall'intercorrelazione tra le variabili si è proceduto al calcolo della *regressione stepwise*. Essa rappresenta un metodo di scelta delle variabili indipendenti applicato ad una serie successiva di matrici di correlazione parziali²⁴.

Per eseguire l'analisi della regressione multipla si sono dovute omogeneizzare le variabili indipendenti poiché essendo espresse originariamente in unità di misura diverse²⁵ e presentando soprattutto una diversa variabilità (Tab. 3) non sarebbe stato possibile confrontare i coefficienti di regressione e valutare la relativa importanza causale delle variabili indipendenti.

Si è operata pertanto una standardizzazione delle produttività parziali e degli indici di produttività globale secondo la formula generica $Z = (X - \bar{X}) / \sigma$ e su tali variabili si è eseguita la regressione. I coefficienti di regressione così ottenuti, detti "coefficienti standardizzati" β , eliminano la diversità tra le variabili imputabile alla differente variabilità; essi si ottengono infatti ponderando il coefficiente di regressione semplice b con un peso espresso dal rapporto tra la deviazione standard di ciascuna variabile indipendente e la deviazione standard della variabile dipendente. In tale maniera si misurano tutte le variabili su una stessa unità di misura (la deviazione standard) uniformando la loro variabilità e rendendole così perfettamente comparabili.

²⁴ Dalla originaria matrice di correlazione viene selezionata come prima variabile indipendente quella maggiormente correlata con la variabile dipendente ed inserita nella prima equazione (*first step*) della serie stepwise; usando poi come controllo la prima variabile indipendente viene calcolata una seconda matrice di correlazione parziale e da questa viene selezionata la seconda variabile che, essendo maggiormente correlata con la variabile dipendente viene inserita nella seconda equazione (*second step*) e così via.

²⁵ La produttività del lavoro come rapporto: Fatt./n°addetti; la produttività del capitale: Fatt./quota ammortamento; la produttività dei combustibili: Ricavo/Spesa.

La standardizzazione consente pertanto di confrontare i coefficienti di regressione e di stabilire la relativa importanza causale delle variabili, indipendentemente dalle diverse unità di misura in cui esse sono originariamente espresse.

Una ulteriore prova della necessità di ricorrere alla standardizzazione è fornita dall'esame sia delle deviazioni standard (o in modo più preciso dai coefficienti di variazione) delle produttività parziali dei fattori, sia dei coefficienti di correlazione tra le variabili. Guardando infatti la Tab. 3 si può osservare che, in genere, per tutte e tre le aziende la produttività parziale del lavoro presenta una deviazione standard di molto superiore a quella del capitale o del combustibile; il che significa che nel periodo considerato la variabile che è variata maggiormente è stata la produttività del lavoro. Non tenendo conto di questa differente variabilità si rischia di inficiare i risultati, nonché di capovolgere la relazione esistente fra le variabili. Dalle Tab. 5a e 5b si può osservare anche, che nella maggior parte dei casi la correlazione più alta è proprio quella esistente tra l'indice di produttività globale (TFP_b , TFP_T) e la produttività del lavoro.

4.3.3 RISULTATI OTTENUTI

I risultati della regressione stepwise sono riportati in Tab. 6a e 6b. Si può osservare innanzitutto che tale regressione non dà sempre luogo alle stesse equazioni di regressione, ossia con uno stesso numero di variabili e a parità di numero con le medesime variabili; ciò dipende dal grado di multicollinearità riscontrato tra le produttività parziali che in alcuni casi ha portato all'eliminazione di una sola variabile e in altri a più di una.

Esaminiamo dapprima i risultati ottenuti nei due periodi separatamente per poi metterli a confronto.

Periodo 1971-1993. Sia Enel che EdF mostrano un'importanza preponderante della produttività parziale del lavoro; ciò significa che tale variabile è non soltanto quella che avendo la variabilità più elevata interviene di più nella relazione e come tale assume "l'importanza ipotetica" maggiore, ma anche (come si vede dai coefficienti standardizzati β) quella "realmente importante" nella determinazione della produttività globale.

I coefficienti di regressione sono tutti altamente significativi ($\alpha = 0.00005$), l'adattamento del modello è risultato ottimo essendo R^2 , per tutte e due le aziende, sempre al di sopra del 90%; nel caso Enel per es., si nota che il 98% della variabilità totale è spiegata dalla regressione (come si può vedere dalla tavola di analisi della varianza), la restante percentuale è attribuibile alla varianza degli errori. Ciò indica che è

molto piccolo lo scarto fra dati osservati e valori stimati e che pertanto il modello di regressione si adatta bene ai dati.

Per ogni azienda sono state calcolate due equazioni di regressione impiegando una volta l'indice di produttività globale TFP_b ed un'altra l'indice di Törnqvist. Le stime ottenute non si discostano molto l'una dall'altra, anzi sono molto vicine. Per Enel il coefficiente β_1 passa da 0.753 (con l'indice TFP_b) a 0.728 (indice di Törnqvist). L'adattamento risulta ottimo essendo il valore di R^2 , rispettivamente per i due numeri indici, pari a 0.985 e 0.982.

È importante a questo proposito una considerazione. Poiché ci si aspetta in genere un aumento nel tempo sia dei prezzi degli inputs sia di quelli degli outputs, l'indice TFP_b a causa della sua struttura ovvero del sistema dei prezzi su cui è costruito dovrebbe provocare una distorsione anzi una sovrastima della produttività (e delle stime ad essa riferite) in quanto in esso le variazioni dei fattori e dei prodotti sono misurate sempre rispetto ai prezzi di uno stesso anno base (il quale per le tre aziende considerate è diverso). In questo caso invece i risultati mostrano che la scelta fra i due numeri indici è indifferente poiché le stime del modello adattato per entrambi sono pressoché uguali.

I risultati fra Italia e Francia mutano riguardo al numero di variabili incluse nelle equazioni di regressione. Nel caso dell'Enel viene eliminata la produttività parziale del combustibile essendo risultata altamente collineare con la produttività degli altri due fattori. Nel caso dell'EdF tutte le variabili vengono incluse nelle equazioni, ciò significa che ognuna di esse dà un contributo significativo e indipendentemente dalle altre variabili al valore di R^2 complessivo, quindi alla determinazione della produttività globale.

Periodo 1980-1993. Si osserva innanzitutto che la produttività parziale del lavoro continua ad assumere per Enel e EdF il peso causale maggiore, ossia la variabile che variando di più influisce considerevolmente sulla produttività globale.

Nel caso dell'Enel l'utilizzo dei due numeri indici di produttività non fornisce le stesse equazioni di regressione. Infatti utilizzando come misura di produttività globale l'indice a base fissa TFP_b , esso risulta direttamente dipendente soltanto dalla produttività del lavoro e il coefficiente R^2 indica che l'82% della variabilità totale è spiegata dal modello di regressione; quindi l'adattamento si rivela abbastanza buono. Utilizzando invece l'indice di Törnqvist l'adattamento migliora perché nell'equazione viene inclusa come variabile indipendente anche la produttività del capitale. In questo caso l'87% della variabilità totale è spiegata dalla regressione, essendo la devianza dell'errore che si commette stimando i dati con tale modello pari soltanto a 1.696 (come si vede dall'analisi della varianza nella tab. 6b). I coefficienti di regressione risultano tutti

altamente significativi ($\alpha=0.00005$) come verificato dai valori delle statistiche t sulla base del test t di Student. È stata saggiata la significatività dei coefficienti di determinazione R^2 (i quali indicano quanta parte della varianza osservata nella variabile dipendente è spiegata o attribuibile alla varianza delle variabili indipendenti prese di volta in volta in considerazione) mediante il test di Fischer. Si sono riportati in tabella i valori di queste statistiche con il rispettivo livello di significatività per ogni valore di R^2 .

Nel caso della Francia la regressione stepwise dà luogo invece a due equazioni con le stesse variabili, in cui la produttività del lavoro P_L rappresenta la variabile maggiormente esplicativa e determinante sul livello della produttività globale. Il coefficiente di regressione β_1 è pari nei due casi rispettivamente a 0.97 e 0.98. L'adattamento si rivela leggermente migliore nel caso in cui si impiega l'indice di Törnqvist essendo il valore di R^2 pari a 0.969, ciò indica che il 97% della variabilità complessiva della produttività totale è spiegata dal modello di regressione adattato (quindi dalla produttività del lavoro) e la restante percentuale - molto bassa pertanto - è attribuibile all'errore che si commette nello stimare i dati con tale modello.

Tali risultati sono legati alla migliore performance del lavoro, osservata in special modo negli anni ottanta in cui si sono registrati - come pure in Italia - elevati aumenti dei prezzi rispetto a quelli del capitale e del combustibile ed imputabili per EdF ad una strategia di espansione della produzione e per Enel ad una politica di labour saving. D'altra parte in Francia dagli anni ottanta in poi si è dato sempre più spazio ad una politica mirante allo sfruttamento del nucleare, che ha provocato un considerevole rialzo dei livelli di produttività parziale, ponendo in secondo piano quella ricavabile da altri combustibili. Nel 1993 l'83% dell'energia prodotta proviene dal nucleare, il 14% dall'idroelettrica e il restante 3% è rappresentato dalla termoelettrica.

Infine per quanto concerne la RWE la situazione si presenta diversamente. In questo caso risulta infatti - sia con l'indice TFP_b che con l'indice di Törnqvist - che la produttività del combustibile assume il maggiore peso causale, nonché l'importanza relativa maggiore nella determinazione della produttività globale. Tale variabile presentando il coefficiente di correlazione più elevato con la variabile dipendente (Tab.5) è quella che spiega di più le variazioni che intervengono nella produttività totale. Utilizzando l'indice TFP_b il valore di R^2 risulta pari a 0.999, ciò indica che il 99% della produttività totale è spiegata congiuntamente da tutte e tre le produttività e questo coefficiente risulta altamente significativo ($\alpha=0.00005$). L'indice di Törnqvist mostra invece che il 99% della variabilità totale è spiegata dalla produttività del capitale e del combustibile; del resto si può vedere dalla Tab. 3 che la P_L ha una variabilità molto bassa, per cui non variando sufficientemente avrà uno scarso contributo esplicativo sulla produttività totale.

Si è proceduto inoltre ad un'analisi dei residui per verificare che fossero soddisfatte le seguenti condizioni necessarie per l'applicabilità dei tests di significanza statistici sui coefficienti (t di Student ed F di Fischer):

- 1) $e_i \sim N(0, \sigma^2)$
- 2) $\text{cov}(e_i, e_j) = 0 \quad i \neq j$

Essendo i residui gli scarti fra valori empirici e valori teorici, essi rappresentano gli errori che si commettono nell'ipotesi che il modello utilizzato sia corretto. La prima condizione indica che i residui devono avere media zero, varianza costante e distribuzione normale. La seconda proprietà (autocorrelazione o correlazione seriale) implica che i residui devono essere incorrelati, cioè ciascun valore e_i deve essere indipendente da ogni altro errore e_j . La verifica di tali condizioni ha consentito di concludere pertanto che i residui sono indipendenti e che la loro distribuzione è abbastanza casuale, come mostrato dai segni e dalla loro rappresentazione grafica.

4.4 CONCLUSIONI

I risultati empirici ottenuti mediante l'analisi della regressione multipla hanno messo in evidenza che i due numeri indici di produttività globale utilizzati forniscono stime di regressione che si discostano poco l'una dall'altra. L'adattamento del modello si rivela infatti ottimo in entrambi i casi, quindi l'utilizzo dell'uno o dell'altro indice come misura di produttività globale in questo caso è indifferente. La scelta si riconduce pertanto a motivazioni di carattere economico e alla precisione dell'informazione che un indice può fornire.

Da un punto di vista teorico-economico poiché si è considerata una serie storica di numeri indici e questi (TFP_b , TFP_T) sono stati costruiti per misurare la variazione fra un anno e il successivo della produttività globale, si tenderebbe a preferire l'indice di Törnqvist rispetto all'indice a base fissa utilizzato perché gli inputs e gli outputs vengono ponderati rispetto ai prezzi relativi che naturalmente cambiano nel corso del periodo 1971-1993; in particolare la produttività del lavoro presenta la performance più rilevante sia in Italia che in Francia e come tale si rivela la variabile maggiormente esplicativa ai fini della determinazione della produttività globale.

L'indice di Törnqvist, come sostenuto nella teoria, ha infatti una maggiore validità e precisione nello spiegare l'andamento nel tempo di una variabile economica come la produttività rispetto ad un indice a base fissa. I risultati hanno inoltre mostrato

che per Enel e EdF - nell'intero periodo 1971-93 e nel sottoperiodo 1980-93 - la produttività parziale che assume il maggiore peso causale sui livelli di produttività totale, risulta essere la produttività del lavoro. Come si può osservare infatti dalle stime di regressione (Tab. 6) e dai singoli valori della produttività (Tab. 2), il lavoro mostra valori positivi e crescenti nell'arco temporale 1971-1993 imputabili in Francia a politiche rivolte all'espansione della produzione e alla riduzione dei costi per le spese di combustibile. Lo sfruttamento del nucleare ha permesso in tal senso di raddoppiare i livelli di produttività parziale, in particolare dagli anni ottanta in poi.

In Italia, politiche di *labour saving* hanno permesso all'Enel di migliorare la produttività del lavoro i cui livelli mostrano un trend nettamente crescente nel periodo 1971-93. Lo smantellamento degli impianti nucleari seguito ai risultati del referendum del 1987, ha avuto un ruolo determinante sui livelli di produttività parziale del capitale che ha subito una stagnazione nei primi anni '80, per poi mostrare segni di ripresa all'incirca dal 1987 in poi.

Nel caso della RWE la variabile che è risultata assumere l'importanza reale maggiore, nonché quella che variando di più spiega la variazione intervenuta nella produttività totale, è stata la produttività del combustibile. Nell'intervallo di tempo considerato 1980-93 la produttività del lavoro si mantiene su livelli più o meno costanti (Tab. 2a e Tab. 3); il capitale e il combustibile mostrano invece un trend decrescente nel tempo, imputabile agli elevati investimenti sostenuti per contenere il livello di inquinamento provocato dall'incendio di impianti di carbone.

In conclusione ENEL e EdF sono le aziende che da un punto di vista grafico e analitico (guardando sia i singoli valori di produttività parziali, sia i risultati di regressione) mostrano ottimi risultati nell'intero periodo e una migliore performance della produttività del lavoro.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AA.VV. (Bolloni, Crivellini, Frigero), (1984), *Produttività e competitività nell'industria italiana*, Bologna, Il Mulino
- Biggeri L. (1986), "Recenti sviluppi nel campo dei numeri indici", in *Rassegna della Letteratura sui cicli economici*, n.1-2
- Biggeri L., Ferrari G., (1991), "Il confronto dei valori nel tempo", in G.Marbach, *Statistica economica*, UTET, Torino
- Caves D.W.,Christensen L.R.,Diewert W.E., (1982), "The economic Theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity", in *Econometrica*, vol.50, n.6, nov.
- Christensen L.R.,Jorgenson, Lau L.J.(1971), "Coniugate duality and the trascendental logaritmico Production Function", in *Econometrica*
- Diewert W.E. (1976), "Exact and superlative Index numbers", in *Journal of Econometrics*, n. 2
- Farrell M.J.(1957), "The measurement of Productive Efficiency", in *Journal of Royal Statistical Society, Series A, General*, 120, n.3
- Frigero P. (1994), "Metodi e temi di analisi della produttività", CUSL, Pier Giorgio Frassati
- Frigero P.(1979), "Per uno studio della produttività: contributi teorici e metodi di ricerca", in *Bollettino CERIS*, n.3
- Frigero P.,Zanetti G.,(1985), *Economia e politica industriale*, parte 5, cap.I, Nuova collana universitaria giuridico-economica, CETIM
- Giacomazzi F. (1974), *Manuale di gestione della produzione*, ISEDI, Milano
- Jazairi N.T. (1986), "Lo 'Stato' della teoria e della pratica dei numeri indici", in *Rassegna della Letteratura sui cicli economici*, n.1-2
- Koves P.(1986), "Per una teoria integrata dei numeri indici", in *Rassegna della Letteratura sui cicli economici*, n.3-4
- Lemmi A.(1989) "Productivity measures for the Industrial sector : a case study in the area of Siena", in *Proceeding 47h Session ISI - Parigi*
- Lemmi A.,Quaranta A.,Viviani A.,(1991), *La misura della produttività: questioni di metodo ed evidenze empiriche*, Università degli Studi di Siena - Serie Rapporti Tecnici, n.1

- Miller E.J.(1983) "A Difficulty in Measuring Productivity with a Perpetual Inventory Capital Stock Measure", in *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, august
- Momigliano F.(1975), *Economia industriale e teoria dell'impresa*, Il Mulino, pp.539-600
- Napoleoni C.(1956), *Dizionario di economia politica*, Edizioni di comunità, Milano, pp.1187-1206
- Nisticò A.,Prosperetti L.,(1991), "Produzione e produttività", in G.Marbach, *Statistica economica*, UTET, Torino
- Norusis M.J. (1992), *SPSS PC+ Base System User's Guide*, Version 5.0, SPSS Inc.Chicago
- OCSE, (1987) (a cura di G.Alberghini), *La produttività nell'industria*, ISEDI, Petrini editore, Torino
- Perrone L. (1991), *Metodi quantitativi di ricerca sociale*, Feltrinelli, Milano
- Rizzi A. (1992), *Inferenza statistica*, UTET, Torino

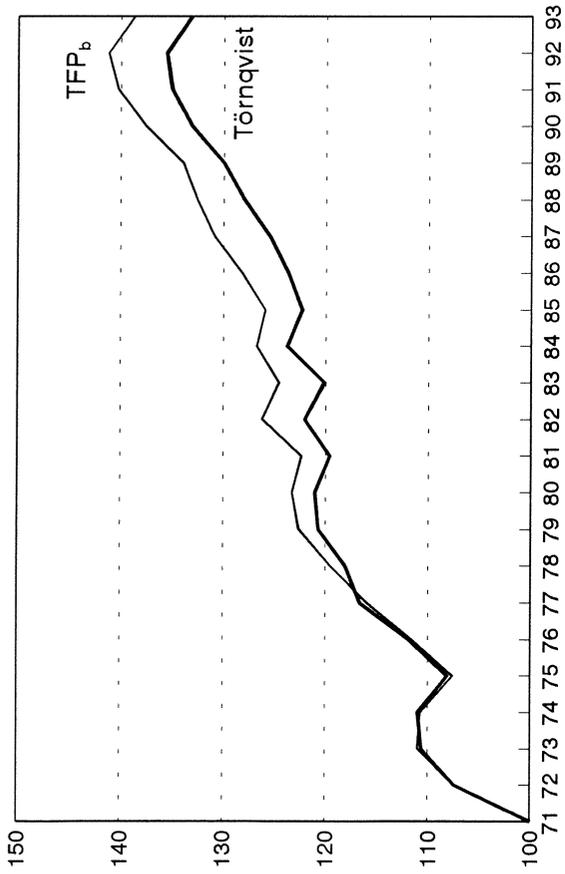
Tab. 1 Numeri indice di produttività totale

	ENEL		EdF		RWE	
	TFP _b	Törnqvist	TFP _b	Törnqvist	TFP _b	Törnqvist
1971	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1972	107.4	107.4	105.8	104.5	93.8	93.0
1973	111.0	110.6	111.1	108.9	92.4	91.3
1974	110.7	111.0	102.8	98.4	86.6	85.6
1975	107.6	108.1	102.0	95.0	86.3	84.8
1976	111.6	111.9	105.3	97.3	90.4	89.2
1977	116.0	116.6	114.5	104.9	85.7	84.7
1978	119.5	118.1	119.9	108.8	82.1	81.4
1979	122.6	120.7	107.6	96.9	80.1	79.3
1980	123.3	100.0	114.0	103.1	77.6	76.7
1981	122.4	119.6	114.2	104.0	82.8	80.5
1982	126.2	122.1	113.5	102.7	85.9	84.1
1983	124.6	120.1	119.9	105.4	88.6	87.2
1984	126.7	123.7	124.9	112.1	87.3	86.1
1985	125.9	122.3	125.4	116.3		
1986	128.2	123.7	124.3	114.4		
1987	130.9	106.1	138.8	121.8		
1988	132.6	107.5	142.3	124.9		
1989	134.0	108.7	147.8	129.7		
1990	137.6	111.6	154.0	135.1		
1991	140.2	113.7	154.0	135.1		
1992	141.2	114.5	153.9	135.0		
1993	138.7	112.5	158.9	139.4		

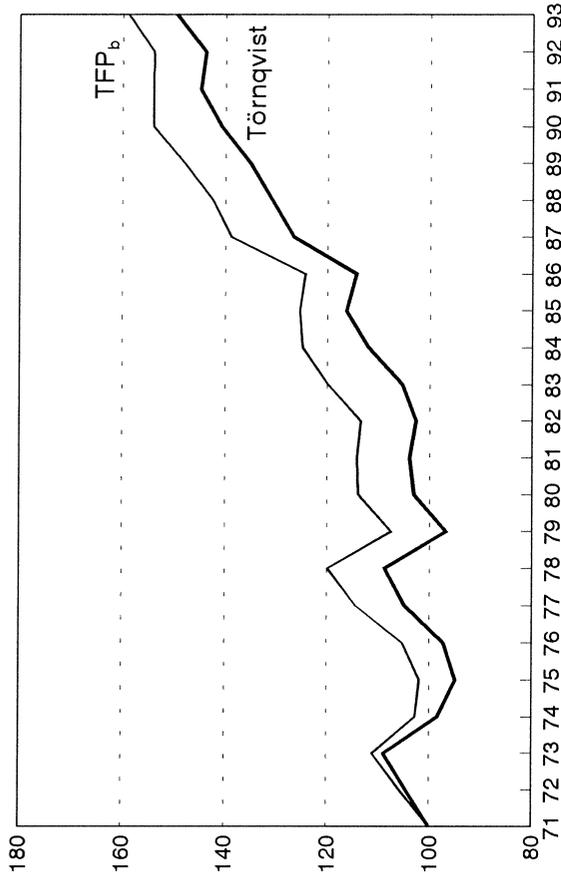
Fonte: Elaborazioni Ceris

Figura 1- Numeri indici di produttività totale

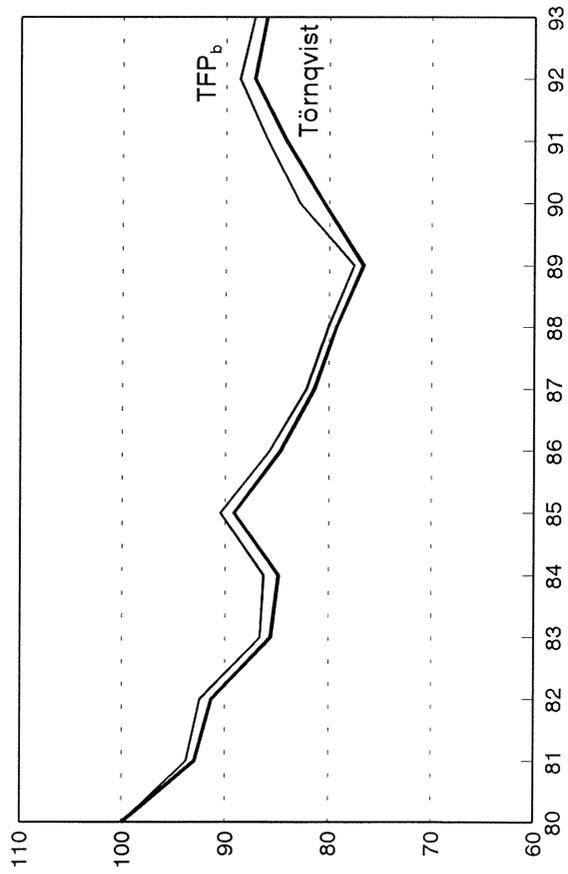
ENEL



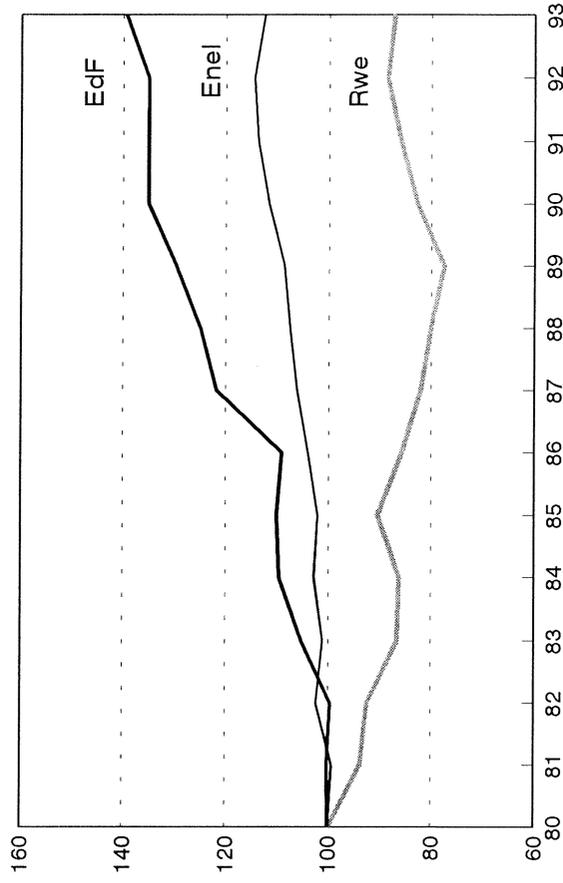
EdF



RWE



TFP_b



Tab. 2 Numeri indice di produttività parziale

Tab. 2a Produttività parziale del lavoro

ANNI	ENEL	EdF	RWE
1971	100.0	100.0	
1972	112.3	109.8	
1973	123.9	117.8	
1974	123.2	121.9	
1975	117.1	124.4	
1976	124.5	136.6	
1977	129.7	142.7	
1978	138.6	154.4	
1979	147.1	162.6	
1980	151.7	169.3	100.0 100.0
1981	153.1	176.1	104.0 99.2
1982	159.7	169.7	100.3 100.3
1983	162.0	106.8 172.5	101.9 96.8
1984	171.2	112.9 187.0	110.5 100.2
1985	177.0	116.7 191.5	113.2 103.6
1986	182.5	120.3 203.0	120.0 97.3
1987	194.1	128.0 212.5	125.6 94.2
1988	205.5	135.4 218.8	129.3 95.3
1989	216.0	142.4 229.9	135.8 100.1
1990	226.1	149.0 238.9	141.2 101.9
1991	235.8	155.4 257.9	152.4 102.8
1992	246.7	132.6 205.7	157.0 101.4
1993	253.0	166.8 269.5	159.2 98.2

Tab. 2b Produttività parziale del capitale

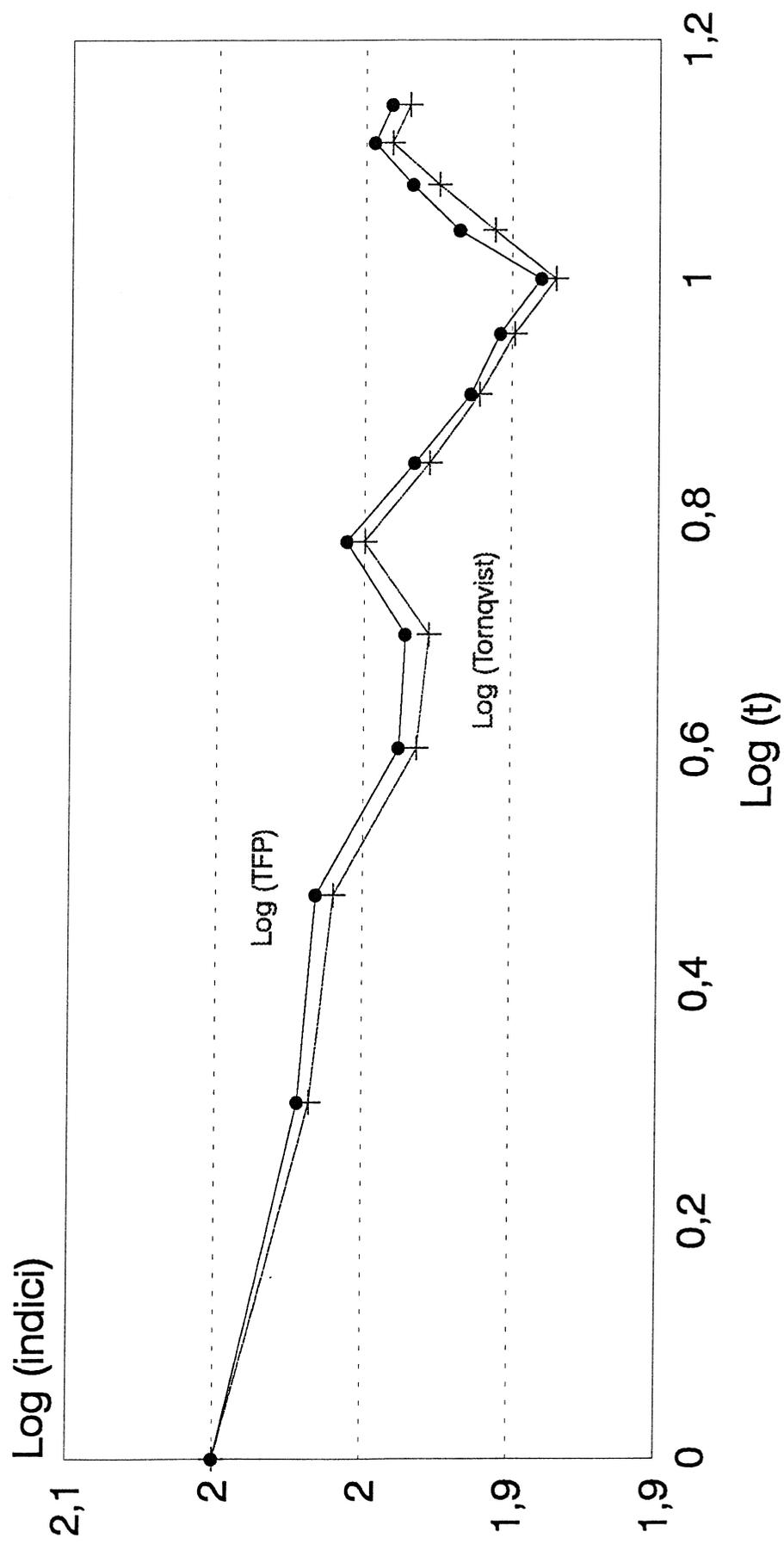
ANNI	ENEL	EdF	RWE
1971	100.0	100.0	
1972	103.7	98.4	
1973	104.1	101.9	
1974	105.6	108.1	
1975	103.1	108.0	
1976	108.1	118.5	
1977	110.0	120.5	
1978	111.5	124.7	
1979	116.2	96.3	
1980	116.2	100.0 121.0	100.0 100.0
1981	116.0	99.9 112.1	92.6 100.4
1982	116.3	100.1 112.9	93.3 100.4
1983	112.6	96.9 107.4	88.7 93.1
1984	113.1	97.4 106.6	88.1 95.6
1985	110.3	94.9 101.8	84.1 94.1
1986	109.1	93.9 94.3	77.9 88.6
1987	112.6	96.9 111.6	92.2 81.5
1988	113.7	97.8 110.5	91.3 74.5
1989	115.0	99.0 127.4	105.3 73.7
1990	118.8	102.3 132.3	109.4 82.1
1991	117.4	101.1 120.2	99.3 80.5
1992	116.0	99.8 110.9	91.6 78.0
1993	111.0	95.5 119.2	98.5 73.8

Tab. 2c Produttività parziale del combustibile

ANNI	ENEL	EdF	RWE
1971	100.0	100.0	
1972	101.5	113.6	
1973	94.1	117.2	
1974	91.9	70.3	
1975	92.9	66.5	
1976	89.4	59.8	
1977	95.9	73.3	
1978	94.0	75.1	
1979	88.2	69.6	
1980	85.5	100.0 60.7	100.0 100.0
1981	81.9	95.7 64.4	106.0 89.7
1982	86.3	100.9 64.6	106.4 87.3
1983	84.0	98.3 81.6	134.5 81.2
1984	82.2	96.1 88.1	145.1 79.2
1985	79.4	92.8 94.8	156.2 84.9
1986	82.9	96.9 100.1	164.8 80.9
1987	79.0	92.3 106.7	175.7 78.3
1988	76.3	89.2 116.7	192.3 76.9
1989	73.9	86.4 98.6	162.5 72.2
1990	73.8	86.3 103.6	170.6 77.1
1991	76.6	89.5 113.5	187.0 82.3
1992	76.2	89.1 130.8	215.4 88.1
1993	74.5	87.1 125.4	206.6 88.6

Fonte: Elaborazioni Ceris

Figura 2- RWE (1980-1993)



Tab. 3 - Statistiche descrittive per gli indici di produttività totale e parziale

	M	SQM	CV
ENEL		1971-1993	
TFP _b	123.430	11.514	0.0933
TFP _T	120.739	9.479	0.079
P _L	167.426	45.526	0.272
P _K	111.322	5.186	0.047
P _F	85.235	8.509	0.099
ENEL		1980-1993	
TFP _b	106.150	5.287	0.049
TFP _T	104.607	4.769	0.045
P _L	126.607	21.216	0.168
P _K	98.250	2.465	0.025
P _F	92.900	5.093	0.055
EDF		1971-1993	
TFP _b	124.126	19.177	0.154
TFP _T	114.957	17.454	0.152
P _L	179.674	50.830	0.283
P _K	111.504	10.225	0.092
P _F	91.087	22.581	0.248
EDF		1980-1993	
TFP _b	118.193	14.903	0.126
TFP _T	119.814	18.697	0.139
P _L	125.029	21.351	0.151
P _K	93.736	8.261	0.088
P _F	158.793	36.854	0.232
RWE		1980-1993	
TFP _b	87.114	5.815	0.067
TFP _T	85.993	6.041	0.070
P _L	99.400	2.733	0.027
P _K	86.879	10.292	0.118
P _F	83.336	7.044	0.085

Fonte: Elaborazioni Ceris

Tab.4 - Funzione di tendenza generale lineare $f(t)= a+bt$

	a	b	R ²
1971-1993			
ENEL (TFP _b)	103.501*	1.661* (21.624)	0.957*
(TFP _T)	104.515*	1.352* (17.488)	0.936*
EDF (TFP _b)	92.262*	2.655* (12.524)	0.882*
(TFP _T)	87.812*	2.262* (8.447)	0.773*
1980-1993			
ENEL (TFP _b)	97.013*	1.218* (12.537)	0.929*
(TFP _T)	96.555*	1.074* (10.076)	0.894*
EDF (TFP _b)	92.121*	3.476* (15.469)	0.952*
(TFP _T)	90.444*	3.916* (17.570)	0.963*
RWE (TFP _b)	93.467*	-0.847** (-2.662)	0.371**
(TFP _T)	92.891*	-0.920** (-2.862)	0.406**
log(TFP _b)	1.989*	-0.065*** (-4.050)	0.578***
log(TFP _T)	1.988*	-0.696*** (-4.367)	0.614***

LEGENDA:

I valori in parentesi indicano le statistiche t

Livello di significatività: * $\alpha=0.00005$; ** $\alpha=0.02$; *** $\alpha=0.001$

Fonte: Elaborazioni Ceris

Tab. 5.a MATRICI DI CORRELAZIONE (periodo 1971-1993)

ENEL

	TFP _b	PL	PK	PF
TFP _b	1	0.966	0.824	-0.927
PL	0.966	1	0.678	-0.923
PK	0.824	0.678	1	-0.742
PF	-0.927	-0.923	-0.742	1

	TFP _T	PL	PK	PF
TFP _T	1	0.959	0.835	-0.917
PL	0.959	1	0.678	-0.923
PK	0.835	0.678	1	-0.742
PF	-0.917	-0.923	-0.742	1

EdF

	TFP _b	PL	PK	PF
TFP _b	1	0.956	0.496	0.671
PL	0.956	1	0.418	0.527
PK	0.496	0.418	1	-0.087
PF	0.671	0.527	-0.087	1

	TFP _T	PL	PK	PF
TFP _T	1	0.909	0.442	0.768
PL	0.909	1	0.418	0.527
PK	0.442	0.418	1	-0.087
PF	0.768	0.527	-0.087	1

Tab. 5.b MATRICI DI CORRELAZIONE (periodo 1980-1993)

ENEL

	TFP _b	PL	PK	PF
TFP _b	1	0.905	0.260	-0.835
PL	0.905	1	0.071	-0.886
PK	0.260	0.071	1	-0.147
PF	-0.835	-0.886	-0.147	1

	TFP _T	PL	PK	PF
TFP _T	1	0.898	0.314	-0.844
PL	0.898	1	0.071	-0.886
PK	0.314	0.071	1	-0.147
PF	-0.844	-0.886	-0.147	1

EdF

	TFP _b	PL	PK	PF
TFP _b	1	0.311	0.763	0.946
PL	0.311	1	0.189	0.217
PK	0.763	0.189	1	0.525
PF	0.946	0.217	0.525	1

	TFP _T	PL	PK	PF
TFP _T	1	0.254	0.760	0.949
PL	0.254	1	0.189	0.217
PK	0.760	0.189	1	0.525
PF	0.949	0.217	0.525	1

RWE

	TFP _b	PL	PK	PF
TFP _b	1	0.970	0.492	0.891
PL	0.970	1	0.385	0.903
PK	0.492	0.395	1	0.058
PF	0.891	0.903	0.058	1

	TFP _T	PL	PK	PF
TFP _T	1	0.985	0.460	0.899
PL	0.985	1	0.385	0.903
PK	0.460	0.385	1	0.058
PF	0.899	0.903	0.058	1

Fonte: Elaborazioni Ceris

Tab. 6a Stime della regressione lineare multipla (periodo 1971-1993)

	Analisi della regressione							Analisi della varianza			
	a	β_1	β_2	β_3	R ²	Rc ²	F	S.E.	Regressione	Devianza Errore	Totale
ENEL (TFP _b)	0	0.753* (20.236)	0.313* (8.403)	-	0.985*	0.984	658.535	0.128	21.67092	0.32908	22
(TFP _T)	0	0.728* (18.066)	0.341* (8.451)	-	0.982*	0.981	560.452	0.139	21.61434	0.38566	22
EDF (TFP _b)	0	0.678* (24.774)	0.242* (10.357)	0.335* (13.426)	0.993*	0.992	874.315	0.091	21.84178	0.15822	22
(TFP _T)	0	0.527* (18.048)	0.266* (10.681)	0.514* (19.310)	0.992*	0.991	767.183	0.097	21.81987	0.18013	22

LEGENDA:

In parentesi sono indicate le statistiche t.

*Significatività per $\alpha=0.00005$

Rc² è il valore di R² corretto.

Fonte: *Elaborazioni Ceris*

Tab. 6b Stime della regressione lineare multipla (periodo 1980-1993)

	Analisi della regressione							Analisi della varianza			
	a	β_1	β_2	β_3	R ²	Rc ²	F	S.E.	Regressione	Devianza Errore	Totale
ENEL (TFP _b)	0	0.905* (7.382)	-	-	0.820*	0.806	54.497	0.442	10.65403	2.34597	13
(TFP _T)	0	0.880* (8.062)	0.252* (2.308)	-	0.870*	0.846	36.663	0.393	11.30418	1.69582	13
EDF (TFP _b)	0	0.970* (13.933)	-	-	0.942*	0.937	194.116	0.251	12.24314	0.75686	13
(TFP _T)	0	0.985* (19.489)	-	-	0.969*	0.967	379.822	0.182	12.60186	0.39814	13
RWE (TFP _b)	0	0.082* (13.024)	0.360* (49.767)	0.740* (101.767)	0.999*	0.999	8887.377	0.022	12.99513	0.00487	13
(TFP _T)	0	-	0.362* (16.020)	0.759* (33.636)	0.996*	0.995	1348.614	0.069	12.94720	0.05280	13

In parentesi sono indicati i valori t di Student

*Significatività dei coefficienti per $\alpha=0.00005$

Fonte: *Elaborazioni Ceris*

WORKING PAPER SERIES (1996-1993)

1996

- 1/96 *Aspetti e misure della produttività. Un'analisi statistica su tre aziende elettriche europee*, by Donatella Cangialosi, February
- 2/96 *L'analisi e la valutazione della soddisfazione degli utenti interni: un'applicazione nell'ambito dei servizi sanitari*, by Maria Teresa Morana, February
- 3/96 *La funzione di costo nel servizio idrico. Un contributo al dibattito sul metodo normalizzato per la determinazione della tariffa del servizio idrico integrato*, by Giovanni Fraquelli and Paola Fabbri, February
- 4/96 *Coerenza d'impresa e diversificazione settoriale: un'applicazione alle società leaders nell'industria manifatturiera europea*, by Marco Orecchia, February
- 5/96 *Privatizzazioni: meccanismi di collocamento e assetti proprietari. Il caso STET*, by Paola Fabbri, February
- 6/96 *I nuovi scenari competitivi nell'industria delle telecomunicazioni: le principali esperienze internazionali*, by Paola Fabbri, February
- 7/96 *Accordi, joint-venture e investimenti diretti dell'industria italiana nella CSI: Un'analisi qualitativa*, by Chiara Monti and Giampaolo Vitali, February
- 8/96 *Verso la riconversione di settori utilizzatori di amianto. Risultati di un'indagine sul campo*, by Marisa Gerbi Sethi, Salvatore Marino and Maria Zittino, February
- 9/96 *Innovazione tecnologica e competitività internazionale: quale futuro per i distretti e le economie locali*, by Secondo Rolfo, March
- 10/96 *Dati disaggregati e analisi della struttura industriale: la matrice europea delle quote di mercato*, by Laura Rondi, March
- 11/96 *Le decisioni di entrata e di uscita: evidenze empiriche sui maggiori gruppi italiani*, by Alessandro Sembenelli and Davide Vannoni, April
- 12/96 *Le direttrici della diversificazione nella grande industria italiana*, by Davide Vannoni, April
- 13/96 *R&S cooperativa e non-cooperativa in un duopolio misto con spillovers*, by Marco Orecchia, May
- 14/96 *Unità di studio sulle strategie di crescita esterna delle imprese italiane*, by Giampaolo Vitali and Maria Zittino, July. **Not available**
- 15/96 *Uno strumento di politica per l'innovazione: la prospezione tecnologica*, by Secondo Rolfo, September
- 16/96 *L'introduzione della Qualità Totale in aziende ospedaliere: aspettative ed opinioni del middle management*, by Gian Franco Corio, September
- 17/96 *Shareholders' voting power and block transaction premia: an empirical analysis of Italian listed companies*, by Giovanna Nicodano and Alessandro Sembenelli, November
- 18/96 *La valutazione dell'impatto delle politiche tecnologiche: un'analisi classificatoria e una rassegna di alcune esperienze europee*, by Domiziano Boschi, November
- 19/96 *L'industria orafa italiana: lo sviluppo del settore punta sulle esportazioni*, by Anna Maria Gaibisso and Elena Ragazzi, November
- 20/96 *La centralità dell'innovazione nell'intervento pubblico nazionale e regionale in Germania*, by Secondo Rolfo, December
- 21/96 *Ricerca, innovazione e mercato: la nuova politica del Regno Unito*, by Secondo Rolfo, December
- 22/96 *Politiche per l'innovazione in Francia*, by Elena Ragazzi, December
- 23/96 *La relazione tra struttura finanziaria e decisioni reali delle imprese: una rassegna critica dell'evidenza empirica*, by Anna Bottasso, December

1995

- 1/95 *Form of ownership and financial constraints: panel data evidence on leverage and investment choices by Italian firms*, by Fabio Schiantarelli and Alessandro Sembenelli, March
- 2/95 *Regulation of the electric supply industry in Italy*, by Giovanni Fraquelli and Elena Ragazzi, March
- 3/95 *Restructuring product development and production networks: Fiat Auto*, by Giuseppe Calabrese, September
- 4/95 *Explaining corporate structure: the MD matrix, product differentiation and size of market*, by Stephen Davies, Laura Rondi and Alessandro Sembenelli, November
- 5/95 *Regulation and total productivity performance in electricity: a comparison between Italy, Germany and France*, by Giovanni Fraquelli and Davide Vannoni, December
- 6/95 *Strategie di crescita esterna nel sistema bancario italiano: un'analisi empirica 1987-1994*, by Stefano Olivero and Giampaolo Vitali, December
- 7/95 *Panel Ceris su dati di impresa: aspetti metodologici e istruzioni per l'uso*, by Diego Margon, Alessandro Sembenelli and Davide Vannoni, December

1994

- 1/94 *Una politica industriale per gli investimenti esteri in Italia: alcune riflessioni*, by Giampaolo Vitali, May
2/94 *Scelte cooperative in attività di ricerca e sviluppo*, by Marco Orecchia, May
3/94 *Perché le matrici intersettoriali per misurare l'integrazione verticale?*, by Davide Vannoni, July
4/94 *Fiat Auto: A simultaneous engineering experience*, by Giuseppe Calabrese, August

1993

- 1/93 *Spanish machine tool industry*, by Giuseppe Calabrese, November
2/93 *The machine tool industry in Japan*, by Giampaolo Vitali, November
3/93 *The UK machine tool industry*, by Alessandro Sembenelli and Paul Simpson, November
4/93 *The Italian machine tool industry*, by Secondo Rolfo, November
5/93 *Firms' financial and real responses to business cycle shocks and monetary tightening: evidence for large and small Italian companies*, by Laura Rondi, Brian Sack, Fabio Schiantarelli and Alessandro Sembenelli, December

Free copies are distributed on request to Universities, Research Institutes, researchers, students, etc.

Please, write to:

MARIA ZITTINO

Working Papers Coordinator

CERIS-CNR

Via Real Collegio, 30; 10024 Moncalieri (Torino), Italy

Tel. +39 011 6824.914; Fax +39 011 6824.966; m.zittino@ceris.cnr.it; <http://www.ceris.cnr.it>