UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE E AZIENDALI "MARCO FANNO"

DIPARTIMENTO DI SCIENZE STATISTICHE

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA INTERNAZIONALE
L-33 Classe delle lauree in SCIENZE ECONOMICHE

Tesi di laurea

Il modello di diffusione di Bass e la sua applicazione: stima del consumo di gas naturale in Asia meridionale

The Bass diffusion model and its application: forecasting natural gas consumption in South Asia

Relatore:
Prof. GUSEO RENATO

Laureanda:
FAVARETTI CATERINA

Anno Accademico 2015-2016

ABSTRACT

Dal momento che i processi aggregati di estrazione di risorse da fonti energetiche presentano un ciclo o multi-ciclo finito, è possibile applicare ad essi un concetto fondamentale del marketing, il product life cycle. Nella letteratura, numerosi studi discutono e propongono diversi approcci per la stima e previsione della produzione in un particolare contesto tecnologico, quello energetico. Partendo dal lavoro di Darda et al. (2015), il mio lavoro presenterà uno studio dettagliato e approfondito del modello di Bass nelle sue due versioni più importanti, il modello di Bass standard (BM) e il modello di Bass generalizzato (GBM), e una loro applicazione finalizzata alla previsione del consumo di gas naturale in quattro paesi dell'Asia del Sud: India, Pakistan, Myanmar, Bangladesh.

INDICE

CAPITOLO 1- INTRODUZIONE **3**
CAPITOLO 2 - RASSEGNA CRITICA DELLA LETTERATURA **5**
2.1 Modello di Hubbert 5
2.2 Modelli statistici 6
2.3 La rete neurale artificiale 7
2.4 Modello grey 8
CAPITOLO 3 - MODELLO DI BASS **11**
3.1 Innovatori e imitatori 11
3.2 Il modello di Bass standard (BM) 12
3.3 Modello di Bass generalizzato (GBM) 15
3.4 Impulsi esponenziali 16
3.5 Impulsi rettangolari 16
3.6 Impulsi misti 16
3.7 Identificazione statistica - Modelli di stima non lineari dei parametri 17
3.8 Stima dei parametri e verifica dell'accuratezza in Darda et al. (2015) 17
CAPITOLO 4 – CASI STUDIO **21**
4.1 Bangladesh 21
4.2 Contesto storico del gas naturale in Bangladesh 21
4.3 Bangladesh nel modello 21
4.4 Myanmar 25
4.5 Contesto storico del gas naturale in Myanmar 25
3.6 Myanmar nel modello 25
4.7 India 28
4.8 Contesto storico del gas naturale in India 28
3.9 India nel modello 28
4.10 Pakistan 32
4.11 Contesto storico del gas naturale in Pakistan 32
4.12 Pakistan nel modello 33
CAPITOLO 5 – CONCLUSIONE **37**
BIBLIOGRAFIA **39**

CAPITOLO 1- INTRODUZIONE

Con il termine innovazione si indica generalmente un'idea, una pratica, un oggetto che viene percepito come nuovo da un individuo o da un'altra unità di adozione (Rogers, 2003). Generalmente, l'introduzione di un'innovazione in un sistema sociale comporta un cambiamento positivo che genera progresso, elevando dunque la qualità di vita delle persone.

Secondo Rifkin (2011), cruciale è capire che le grandi trasformazioni economiche della storia avvengono quando una nuova innovazione tecnologica di comunicazione converge con un nuovo sistema energetico. Nel diciannovesimo secolo, con la prima rivoluzione industriale gli inglesi hanno sviluppato il telegrafo, si è passati dalla stampa manuale a quella a vapore e, sempre a proposito di vapore, la nascita della locomotiva. In America, nel ventesimo secolo si è assistito alla seconda rivoluzione industriale, molto importante per i settori della comunicazione, dell'energia, dei trasporti e della logistica. Dall'energia elettrica centralizzata, al telefono, alla radio, alla televisione, e poi, con l'uso del petrolio, la nascita dei motori a combustione interna che Henry Ford porterà in strada con la fabbricazione di automobili, autobus e camion. Per soddisfare la crescente domanda di carburante, la nascente industria petrolifera ha accelerato l'esplorazione e lo sfruttamento dei giacimenti, facendo degli Stati Uniti il maggior produttore mondiale di petrolio.

Oggi siamo agli albori di una nuova convergenza di tecnologie della comunicazione e regime energetico. Il connubio di tecnologie di comunicazione in rete ed energie da fonti rinnovabili sta dando il via a quella che Rifkin (2011) definisce "Terza Rivoluzione industriale".

E' chiaro che abbiamo raggiunto il limite estremo della possibile estensione della crescita economica globale nell'ambito di un sistema economico profondamente dipendente dal petrolio e dagli altri combustibili fossili. A conferma di ciò, la International Energy Agency (IEA) sostiene che è probabile che il picco della produzione petrolifera globale si sia registrato nel 2006, ovvero il superamento della soglia del 50% del totale delle riserve petrolifere disponibili sul pianeta. E', dunque, necessario esplorare nuove alternative, come il gas naturale.

Secondo il World Energy Outlook 2015, sia che venga utilizzato in sostituzione dei combustibili fossili a maggiore intensità carbonica sia che venga impiegato come capacità di riserva per garantire un'affidabile integrazione dell'elettricità da rinnovabili, il gas naturale rappresenta una valida opzione nel processo di graduale decarbonizzazione del sistema energetico: con un aumento dei consumi del 50%, questa fonte mostra il tasso di incremento più sostenuto tra i

combustibili fossili. Cina e Medio Oriente sono i principali centri di crescita della domanda di gas.

Dal momento che i processi aggregati di estrazione di risorse da fonti energetiche presentano un ciclo o multi-ciclo finito, è possibile applicare ad esse un concetto fondamentale del marketing, il product life cycle (ciclo di vita del prodotto), nel quale si ipotizza che le vendite di un nuovo bene siano caratterizzate da vari stadi: lancio, crescita, maturità e declino. Nella letteratura, numerosi studi discutono e propongono diversi approcci per la stima e previsione della produzione in un particolare contesto tecnologico, quello energetico.

Partendo dal lavoro di Darda et al. (2015), il mio lavoro presenterà uno studio dettagliato e approfondito dei modelli di Bass, ovvero i modelli più conosciuti ed utilizzati per rappresentare il ciclo di vita di un nuovo prodotto, e una loro applicazione finalizzata alla previsione del consumo di gas naturale in quattro paesi dell'Asia del Sud: India, Pakistan, Myanmar, Bangladesh.

La tesi è strutturata come segue. Nel capitolo 2 viene presentata una breve rassegna critica della letteratura. Nel capitolo 3 viene presentato teoricamente il modello di diffusione di Bass nelle sue due versioni, il modello standard e il modello generalizzato. Il capitolo 4 descriverà i quattro casi studio presi in esame. Per finire, nel capitolo 5 compariranno le conclusioni.

CAPITOLO 2 - RASSEGNA CRITICA DELLA LETTERATURA

Nella letteratura, numerosi studi discutono e propongono approcci per la stima e previsione della produzione e il consumo di gas naturale. Nel suo report, Soldo (2012) elenca e descrive i principali strumenti di previsione impiegati nel campo del gas naturale.

Tra i metodi descritti, l'autore evidenzia per importanza quattro categorie di strumenti di cui ho scelto di tracciare brevemente i caratteri fondamentali: il modello di Hubbert, i modelli statistici, la rete neurale artificiale, il modello di previsione grey.

2.1 Modello di Hubbert

Tra le prime metodologie impiegate per la previsione del consumo di gas naturale spicca per importanza il modello di Hubbert. Nei suoi saggi, Hubbert studia le statistiche annuali della produzione di combustibile fossile e, dopo aver tracciato le curve di produzione nel tempo, osserva che le curve presentano caratteristiche simili e una significativa somiglianza tra loro: ogni curva parte lentamente e poi cresce più rapidamente fino a quando non raggiunge il suo punto di flesso, detto picco di Hubbert, oltre il quale la produzione diminuisce e diventa, di conseguenza, concava verso il basso.

Il suo modello si basa su due assunzioni:

1. Per qualsiasi curva di produzione di risorse finite di ammontare fisso, due punti nella curva sono conosciuti sin dall'inizio, ovvero $t=0$ e $t=\infty$, dove il tasso di produzione sarò zero in entrambi i casi. $T=0$ rappresenta il momento in cui la risorsa comincia ad essere consumata. Tale risorsa prima o poi verrà esaurita; teoricamente questo momento corrisponde a $t=\infty$. In questo intervallo di tempo, si osserva un punto di produzione massima.
2. La seconda assunzione deriva dal teorema fondamentale del calcolo integrale: se esiste una curva di produzione tracciata contro il tempo su scala aritmetica $P=dQ/dt$, dove dQ è la quantità di risorsa prodotta nel tempo dt, allora l'area totale al di sotto della curva, sul grafico di produzione-tempo, rappresenterà la massima produzione di ogni risorsa esauribile.

Con queste considerazione, Hubbert basò inizialmente la sua teoria sull'osservazione dei dati storici della produzione di carbone in Pennsylvania, giungendo solo in seguito ad una trattazione matematica generalizzata applicabile anche ad altri casi. Estrapolando la sua teoria

al futuro della produzione di petrolio degli stati continentali americani, Hubbert fece la previsione (nel 1956) che agli inizi degli anni '70, gli USA avrebbero raggiunto il loro "picco di produzione" petrolifera. Le conclusioni di Hubbert furono inizialmente guardate con sufficienza dagli ambienti scientifici ed economici, situazione che cambiò radicalmente nei primi anni settanta, quando, effettivamente, i 48 stati continentali USA raggiunsero il loro picco di produzione. La concomitanza di questi eventi con le crisi petrolifere del 1973 e del 1979 fece di Hubbert forse il geofisico più famoso del mondo.

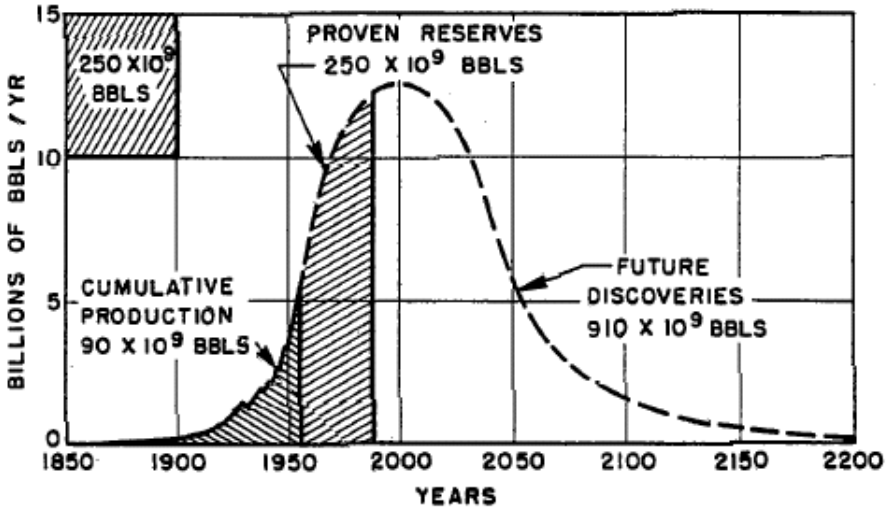

Figura 1 Produzione massima di petrolio greggio

Negli anni successivi, il modello di curva venne largamente utilizzato da diversi autori, quali Al-Jarri e Startzman, Siemek et al., Cavallo, Reynolds e Kolodziej, Maggio e Cacciola, Valero e Valero, Bass.

2.2 Modelli statistici

Dai primi anni ’60 in poi si è assistito alla concezione e al successivo sviluppo di numerosi modelli statistico-matematici ai fini della previsione del consumo di gas naturale. Tra gli esempi di modelli statistici, Soldo cita le ricerche di Beierlein et al. (1981) ed Herbert et al. (1987).

Per stimare la domanda di gas naturale e elettricità per i settori locali, commerciali e industriali nel nord degli Stati Uniti, Beierlein et al (1981) impiegano una combinazione di componenti di errore del modello e regressioni apparentemente non correlate. I modelli di stima della domanda dimostrarono come sia il gas naturale che l’elettricità siano elastici rispetto ai prezzi nel lungo periodo e inelastici nel breve periodo in tutti i settori fatta eccezione per il settore commerciale in cui la domanda di elettricità è insensibile al prezzo.

Nella loro ricerca, Herbert et al. (1987) esaminano lo schema temporale e l'effetto dei gradi giorno, del prezzo del gas naturale, il prezzo dell'olio combustibile residuo, e l'attività industriale sulla domanda industriale di gas naturale tra il Gennaio 1980 e il Marzo 1984 negli Stati Uniti. Per evidenziare questi schemi vengono impiegati grafici in tempo reale. Per stimare questi effetti viene impiegata l'analisi di regressione. Vengono successivamente valutati i risultati dell'analisi di regressione, nonché il controllo dell'effetto dell'errore di misurazione sui coefficienti stimati. La valutazione indica che i coefficienti stimati sono affidabili.

Nella categoria dei modelli statistici rientrano anche i modelli di Bass che verranno diffusamente trattati nel prossimo capitolo.

2.3 La rete neurale artificiale

Una rete neurale artificiale è un modello matematico di calcolo composto di "neuroni" artificiali, che si ispira a una rete neurale.

In termini pratici le reti neurali sono strutture non-lineari di dati statistici organizzate come strumenti di modellazione. Esse possono essere utilizzate per simulare relazioni complesse tra ingressi e uscite che altre funzioni analitiche non riescono a rappresentare. Una rete neurale è sostanzialmente uno schema di regressione a due stadi, generalmente di tipo non lineare, in cui sono messe in relazione – variabili esplicative (o di input) con Y variabili risposta (o di output), attraverso uno strato di variabili latenti (quindi non osservate), che si frappongono tra i due precedenti gruppi (nel senso che le variabili esplicative influenzano le variabili latenti e queste ultime influenzano le variabili risposta).

Come il cervello umano, una rete neurale artificiale riceve segnali esterni su uno strato di nodi (unità di elaborazione) d'ingresso, ciascuno dei quali è collegato con numerosi nodi interni, organizzati in più livelli. Ogni nodo elabora i segnali ricevuti e trasmette il risultato a nodi successivi.

Sebbene ciascun neurone svolga la propria funzione in maniera piuttosto lenta e imperfetta, collettivamente, una rete può portare a termine un sorprendente numero di mansioni efficacemente. Dunque, si tratta in sostanza di un sofisticato sistema di tipo statistico dotato di una buona immunità al rumore. L'utilità dei modelli di rete neurale sta nel fatto che queste possono essere usate per comprendere una funzione utilizzando solo le osservazioni sui dati. Ciò è particolarmente utile nelle applicazioni in cui la complessità dei dati o la difficoltà di

elaborazione rende la progettazione di una tale funzione impraticabile con i normali procedimenti di analisi manuale.

I compiti a cui le reti neurali sono applicate possono essere classificate nelle seguenti grandi categorie di applicazioni:

- Funzioni di approssimazione, o di regressione, tra cui la previsione di serie temporali e la modellazione.
- Classificazione, compresa la struttura e la sequenza di generici riconoscimenti, l'individuazione delle novità ed il processo decisionale.
- L'elaborazione dei dati, compreso il "filtraggio" (eliminazione del rumore), il clustering, separazione di segnali e compressione.

La prima applicazione di tale metodologia avvenne nel 1964, ma solo negli anni successivi cominciò a diffondersi largamente come strumento di previsione tra i ricercatori, come Werbos, Brown et al., Suykend et al., Elragal, Musilek et al, Tonkovic et al., Dombayci.

2.4 Modello grey

Nella teoria dei sistemi grey, GM (n,m) rappresenta un modello grey, dove n è l'ordine dell'equazione differenziale e m è il numero di variabili. Sebbene esistano diversi tipi di modello grey, molti ricercatori si sono focalizzati nell'impiego di modelli GM (1,1) ai fini della previsione per la sua efficienza di calcolo.

Il modello GM (1,1) si basa su equazioni differenziali di primo ordine. Si assume che tutti i valori dei dati da utilizzare siano positivi e che la frequenza del campione della serie temporale sia costante. Le soluzioni dei coefficienti nel modello sono analizzati sulla base dell'analisi di regressione statistica secondo il metodo dei minimi quadrati. Il modello di predizione GM (1,1) presenta coefficienti che variano nel tempo. In altre parole, il modello si rinnova ogni volta che nuovi dati diventano disponibili al modello di predizione. Il modello di predizione GM (1,1) essenzialmente compie una operazione di accumulazione alla sequenza originale, genera una sequenza che dimostra una qualche regolarità, dispone una modello di equazione differenziale lineare di primo tipo, e ottiene la curva risultante di previsione.

Nella loro indagine, Kayacan et al. (2010) concludono che il modello GM (1,1) è in grado di formulare stime accurate per la previsione di processi monotoni. Tuttavia, il modello GM (1,1) non può riprodurre la medesima performance all'aumentare dei dati originali, come nel caso di una curva ad S. La simulazione presentata nel report dimostra che i modelli grey modificati

presentano performance più elevate non solo nella costruzione del modello ma anche nella previsione. Tra i diversi modelli grey, il modello modificato GM (1,1) impiegando le serie Fourier è il metodo migliore per la costruzione del modello e la previsione.

CAPITOLO 3 - MODELLO DI BASS

Nel 1969, Bass individua un modello di diffusione in grado di descrivere il processo di adozione di una innovazione, nelle sue fasi caratteristiche di lancio, crescita, maturità e declino. In questo modo, Bass rende possibile la previsione dell'evoluzione nel tempo delle vendite di un nuovo prodotto, determinate dalle decisioni d'acquisto dei consumatori.

Tale modello consiste di una semplice funzione differenziale di primo ordine che è in grado di catturare le forme comunicative che possono influenzare il comportamento dei consumatori: la pubblicità e il passaparola ("word of mouth").

3.1 Innovatori e imitatori

La premessa teorica che giustifica tale modello si fonda sulla suddivisione dei potenziali acquirenti, i cosiddetti *adopter*, in due categorie: gli innovatori e gli imitatori.

Gli innovatori sono temerari, in quanto presentano una particolare predisposizione al rischio che li spinge ad adottare un'innovazione nella fase iniziale del ciclo di vita, indipendentemente dalla decisione degli altri individui nel sistema sociale. In termini pratici, sono i primi ad adottare un'innovazione e sono influenzati solo dalle fonti informative ufficiali, come la pubblicità. Al contrario, i tempi di adozione dell'innovazione degli imitatori sono influenzati dalle decisioni degli altri membri nel sistema sociale tramite la comunicazione passaparola. In un certo senso, gli imitatori imparano da coloro che hanno già effettuato l'acquisto. All'interno di ogni specifico gruppo, si assume una notevole omogeneità nelle caratteristiche e nei comportamenti degli individui. Tra i gruppi permane una certa eterogeneità, che permette di individuare piuttosto nettamente le varie suddivisioni.

La letteratura si pronuncia largamente sulla distinzione dei potenziali acquirenti. In particolare, Roger (1962) classifica gli acquirenti in cinque categorie sulla base dei loro tempi di adozione: innovatori, adottanti iniziali, maggioranza iniziale, maggioranza ritardatari, ritardatari. Bass (1969) riduce il numero di categorie a due e specifica che la distinzione si basa sull'influenza all'acquisto. Gli innovatori non sono influenzati nel momento dell'acquisto iniziale dal numero di individui che ha già acquistato il prodotto, mentre gli imitatori lo sono. L'importanza degli innovatori è più significativa all'inizio, poi tende a diminuire in maniera monotona nel tempo. Dunque, l'autore sostiene che la velocità e i tempi di adozione dipendano dal loro grado di innovazione e dalla tendenza all'imitazione dei potenziali acquirenti.

3.2 Il modello di Bass standard (BM)

Si supponga che la probabilità cumulata che qualcuno nel segmento target adotterà l'innovazione non oltre il tempo t sia data da una funzione di ripartizione Z(t), dove Z(t) si avvicina ad 1 (adozione certa) all'aumentare di t. Tale funzione suggerisce che un individuo nel segmento target, prima o poi, conseguirà l'acquisto di una innovazione. La derivata di Z(t) è la densità della funzione di ripartizione, z'(t), che segnala la variazione nel tempo delle adozioni cambia al tempo t.

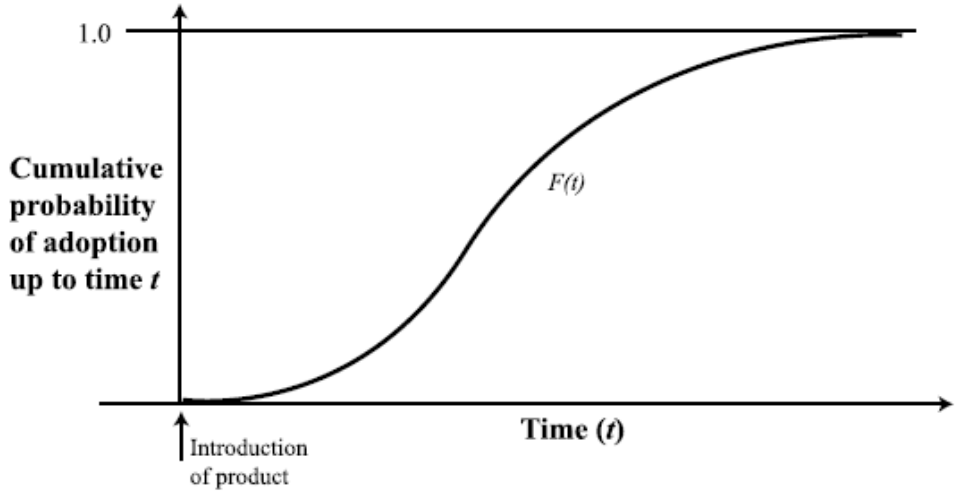

Figura 2 Rappresentazione delle vendite cumulate, ovvero della probabilità che un consumatore adotti un nuovo prodotto entro il tempo t.

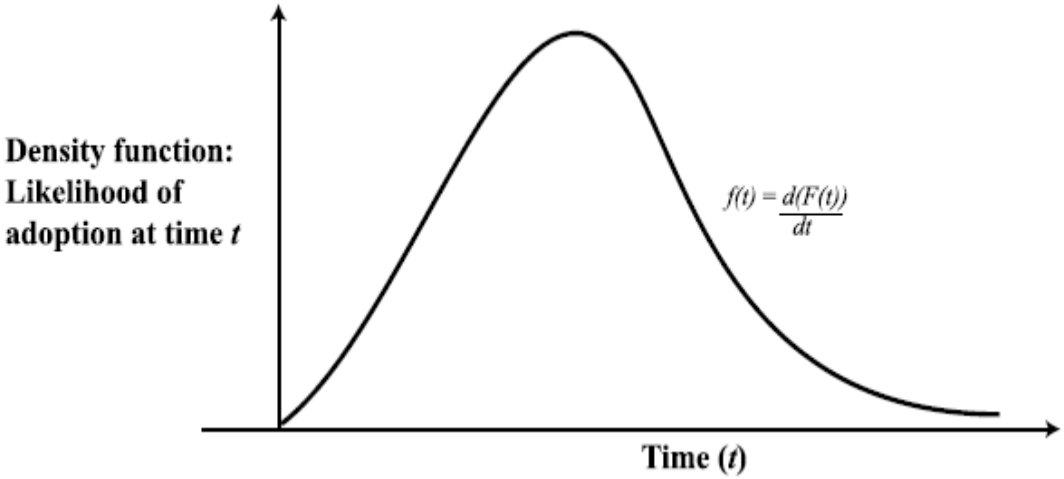

Figura 3 Rappresentazione vendita istantanea, ovvero della probabilità che un consumatore adotti un nuovo prodotto esattamente al tempo t.

La rappresentazione formale del modello di Bass è una equazione formale di primo ordine.

$$z' = m\left(p + q\frac{Z(t)}{m}\right)(m - z) \tag{1}$$

Che può essere riscritta come

$$z' = p(m - z) + q\frac{Z(t)}{m}(m - z) \tag{2}$$

Dove,

- Mercato totale: M
- Mercato potenziale: M – Z(t)
  - Nuove adozioni da parte di innovatori: $p(m - Z(t))$
  - Nuove adozioni da parte di imitatori: $q\frac{Z(t)}{m}\left(m - Z(t)\right)$

Questa equazione indica che la variazione nel tempo delle adozioni, z'(t), è proporzionale al mercato residuo, (m-Z), dove m il mercato potenziale. Il mercato potenziale m è una costante positiva detta anche capacità portante (carrying capacity), che rappresenta il mercato totale raggiungibile. Il mercato residuo è influenzato da due parametri, p e q. Il parametro p è il coefficiente di innovazione (o coefficiente di influenza esterna) e cattura l'effetto delle influenze esterne, come la pubblicità e la comunicazione istituzionale; il parametro q è il coefficiente di imitazione (o coefficiente di influenza interna) la cui rilevanza dipende dalla frazione $\frac{Z(t)}{m}$, che al tempo t=0 è zero. Al tempo t=0, $z' = pm$: questo è il livello costante di adottanti (innovatori) all'inizio del processo di diffusione.

Dunque, la variazione istantanea del processo di accumulo delle vendite è governato dalla somma di due componenti: il primo addendo $p(m - Z(t))$ esprime, con il parametro p, l'effetto innovativo del processo ed è direttamente proporzionale al mercato residuo. Tale effettosi riduce temporalmente ma ha il pregio di rendere evidente il meccanismo di iniziazione dell'intero processo diffusivo evidenziando il ruolo di promotore svolto da una sottopopolazione leader. Il secondo addendo $q\frac{Z(t)}{m}\left(m - Z(t)\right)$ esprime, con il parametro q, l'effetto imitativo del processo ed è ancora direttamente proporzionale al mercato residuo.

Inoltre, il modello di Bass può essere interpretato come una hazard function, ovvero come la probabilità che un evento si realizzi al tempo t dato che non è si è ancora realizzato:

$$\frac{z'(t)}{m - F(t)} = p + q\frac{Z(t)}{m} \tag{3}$$

La probabilità condizionata di un'adozione al tempo t risulta dalla somma delle probabilità di due eventi indipendenti, p e $q\frac{Z(t)}{m}$. Ciò significa che la decisione finale di acquisto è determinata

da una sola tipologia di influenza (interna o esterna). Questa separazione degli effetti genera le due classi di adottanti distinti che si sono definite inizialmente.

L'equazione, che rappresenta un caso particolare dell'equazione di Riccati (Guseo, 2004), ha soluzione esplicita nel continuo:

$$y(t) = \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \tag{4}$$

Dove y(t) è la proporzione di adottanti.

Volendo riferire il processo alla sua scala assoluta di rappresentazione, il numero di adottanti, è sufficiente moltiplicare per il mercato potenziale, che agirà come parametro di scala del processo

$$Z(t) = m \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \tag{5}$$

Le equazioni (4) e (5) individuano le adozioni cumulate al tempo t, mentre se si è interessati alle adozioni istantanee si utilizza la derivata prima, che corrisponde alla funzione di densità.

$$y(t) = \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p + qe^{-(p+q)t})^{\ 2}} \tag{6}$$

$$Z(t) = m \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p + qe^{-(p+q)t})^2} \tag{7}$$

Le adozioni istantanee evidenziano la presenza di un picco, ovvero il punto di massima crescita della diffusione, dopo il quale il processo inizia a decrescere. In termini di ciclo di vita, il picco rappresenta il raggiungimento della maturità del prodotto, alla quale segue inesorabilmente la fase di declino. Il tempo t* in cui viene raggiunto il picco è dato da

$$t * = \frac{\ln(^{q}/_{p})}{(p+q)} \tag{8}$$

3.3 Modello di Bass generalizzato (GBM)

Tuttavia, il modello di Bass standard presenta un limite. Infatti, tale modellazione non tiene conto tiene conto delle variabili esogene, come strategie di prezzo o di comunicazione, che possono influenzare il processo di diffusione.

Per arginare tali limiti, Bass, Krishnan e Jain (1994) propongono una versione generalizzata del modello di Bass che permette un salto di qualità nell'estensione della equazione di base. Infatti, viene introdotta una funzione "portante" x(t) che consente di modificare la velocità di scorrimento del tempo.

L'equazione del GBM è

$$z' = \left(p + q\frac{Z(t)}{m}\right)\left(m - Z(t)\right)x(t) \tag{9}$$

ove x(t) è una funzione integrabile in domini limitati e non negativa. Nel modello di Bass standard tale funzione è uniformemente unitaria, x(t)=1. Un posizionamento di x(t) nel dominio 0<x(t)<1 denota un rallentamento nella diffusione ovvero una dilatazione nel tempo, mentre un valore x(t)>1 indica una contrazione nei tempi ed una corrispondente sollecitazione del processo diffusivo.

Sotto l'iniziale condizione z(0) =0, la soluzione generale del GBM è

$$z(t) = m\,\frac{1-e^{-(p+q)\int_0^t x(\tau)d\tau}}{1+\frac{q}{p}e^{-(p+q)\int_0^t x(\tau)d\tau}},\ \ t>0,\ p,q>0 \tag{10}$$

con l'ovvia particolarizzazione, per il caso in cui x(t)=1 (assenza di interventi esterni) che conferma la soluzione del modello standard di Bass. La funzione portante x(t) è in grado di tenere in considerazione i possibili effetti di variabili esterne (interventi di natura politica o economica) nel processo di diffusione e può accelerare o rallentare il processo di adozione. Ciò che viene chiarificato da Bass et al. (1994) è che i parametri interni del modello m, p, e q non sono modificati da tali azioni esterne: la funzione x(t) agisce sulla naturale forma della diffusione, modificandone la struttura temporale e non il valore dei suoi parametri interni; di conseguenza, l'importante effetto di x(t) sta nell'anticipare o ritardare le adozioni, ma non nell'aumentarne o diminuirne la portata.

Sebbene x(t) sia stata inizialmente concepita per rappresentare le variabili di marketing mix, la sua struttura è così generale e semplice da poter descrivere altre azioni esterne. Di seguito, si propongono alcuni esempi di funzione di intervento x(t) tratti da Guseo (2004), che descrivono i diversi tipi di perturbazione.

3.4 Impulsi esponenziali

Una drastica perturbazione, i cui effetti sono forti e veloci, può essere descritta dalla seguente funzione esponenziale

$$x(t) = 1 + ce^{b(t-a)} I_{t \geq a} \tag{11}$$

dove il parametro c rappresenta l'intensità e il segno dello shock; b descrive la persistenza dell'effetto e la velocità di decadimento dell'intervento (è negativo se lo shock si riassorbe); a descrive i tempi di insorgenza dello shock, di conseguenza (t-a) deve essere positivo. In questo caso, la funzione portante esprime un impulso esponenziale.

3.5 Impulsi rettangolari

Una perturbazione più stabile che agisce sulla diffusione per un periodo relativamente lungo, come nel caso di misure e politiche istituzionali, può essere descritta dalla seguente funzione rettangolare

$$x(t) = 1 + cI_{t \geq a}\, I_{t \leq b} \tag{12}$$

dove il parametro c descrive l'intensità della perturbazione e può essere sia positivo che negativo, mentre i parametri a e b definiscono l'intervallo temporale in cui lo shock avviene.

3.6 Impulsi misti

In alcuni casi, la funzione di intervento x(t) può rappresentare shock di natura differente. Il caso più semplice è costituito da una coppia di impulsi, uno esponenziale e l'altro rettangolare.

$$x(t) = 1 + ce^{b(t-a)} I_{t \geq a} + cI_{t \geq a}\, I_{t \leq b} \tag{13}$$

Dunque, il pregio del modello generalizzato è dovuto al fatto che la funzione di intervento x(t), a meno del disturbo stocastico, permette di incorporare il futuro e di modellare vari tipi ipotesi di scenario e di prevederne l'effetto sul processo di diffusione.

3.7 Identificazione statistica - Modelli di stima non lineari dei parametri

L'utilizzo dei modelli di Bass richiede la stima di tre parametri principali: parametro di innovazione, p, parametro di imitazione, q, e il mercato potenziale, m. Studi empirici hanno dimostrato che il metodo dei minimi quadrati lineari (OLS) presenta alcuni limiti nella stima dei parametri di un modello di Bass, come la tendenza a produrre parametri di segno negativo.

Si ritiene, invece, che l'approccio tipicamente ritenuto come più affidabile per la stima dei parametri di un modello di Bass è il metodo dei minimi quadrati non lineari (NLS).

In particolare, come esposto in Guseo (2004), il tradizionale modello di regressione non lineare nei parametri, $\beta \in R^k$, può essere descritto dalla somma di due componenti,

$$Z_t = Z(t) = f(\beta, t) + \varepsilon(t) \tag{14}$$

Dove Z(t) è la risposta del sistema che dipende dal tempo t; $f(\beta, t)$ è la componente deterministica, funzione reale nota dell'incognito parametro multiplo $\beta \in R^k$e del tempo t. La seconda componente, ε(t), rappresenta un processo stocastico che descrive il disturbo residuale. Generalmente si assume che gli errori ε(t) siano di media nulla M(ε(t)) = 0, che la varianza sia omoschedastica, Var(ε(t)) =σ^2, e che non vi sia autocorrelazione tra disturbi distinti $\sigma_{\varepsilon(t),\varepsilon(')}$=0, t≠t'. Queste tre condizioni contraddistinguono il processo stocastico stazionario denominato white noise.

3.8 Stima dei parametri e verifica dell'accuratezza in Darda et al. (2015)

Tale metodo dei minimi quadrati non lineari (NLS) viene applicato anche da Darda et al. (2015) per la stima dei parametri del modello di Bass impiegato per la previsione del consumo di gas naturale in quattro paesi dell'Asia del Sud: India, Pakistan, Bangladesh e Myanmar.

In un primo momento, gli autori applicano il Modello di Bass standard. Considerando un periodo di tempo unitario, il tasso di diffusione della produzione di gas naturale, z'(t), nel periodo temporale, (t-1, t), può essere descritto dal seguente modello di regressione:

$$\begin{aligned} z'(t) &= mf(t) + e(t) \\ &\approx m[F(t) - F(t-1)] + e(t) \\ &= m\left[\frac{1-e^{-(p+q)t}}{1+\frac{q}{p}e^{-(p+q)t}} - \frac{1-e^{-(p+q)(t-1)}}{1+\frac{q}{p}e^{-(p+q)(t-1)}}\right] + e(t) \end{aligned} \tag{15}$$

Dove e(t), il termine errore, è un white noise di media 0 e varianza costanza pari a σ^2. I parametri p, q e m possono essere stimati con la procedura dei minimi quadrati non lineari attraverso l'algoritmo di Levenberg-Marquard.

In alternativa, in termini cumulativi, l'equazione diventa

$$z(t) = \eta(\beta, t) + e(t) \tag{16}$$

Dove, come già detto, z(t) rappresenta i dati osservati, $\eta(\beta, t)$ è la componente deterministica del modello, β è il vettore dei parametri incogniti, e $e(t)$ è il disturbo residuale.

In un secondo momento, gli autori considerano un più complesso modello di Bass generalizzato con specifiche funzioni di intervento, x(t), che siano in grado di catturare gli shock economici e politici osservati nella raccolta dei data. L'adeguatezza e l'idoneità dei modelli proposti può essere valutata attraverso l'indice di determinazione R^2, il BIC (Criterio di Informazione Bayesiano) e il test F basato sul coefficiente di correlazione parziale aggiustato.

Il BIC, ovvero Criterio di informazione Bayesiano, è un criterio per la selezione di un modello tra una classe di modelli parametrici con un diverso numero di parametri. Se N rappresenta il numero totale di osservazioni impiegate per adattare i modelli e k è il numero dei parametri considerati nel modello, allora, sotto l'assunzione di normalità dei residui, il BIC può essere calcolato con la seguente formula:

$$BIC = N \cdot \ln\left(\frac{RSS}{N}\right) + k \cdot \ln(N) \tag{17}$$

dove RSS rappresenta la devianza residua. Ci si aspetta un basso valore di BIC per i modelli meglio adattati.

Per un set di modelli nidificati, ovvero nel caso in cui un modello contenga tutti i termini di un altro modello e almeno un termine aggiuntivo, la significatività del guadagno da un modello più semplice (M_1) ad uno più complesso (M_2) può essere valutato in due fasi. Innanzitutto, l'indice di determinazione è calcolato nel seguente modo:

$$P^2 = (R_{M2}^2 - R_{M1}^2)/(1 - R_{M1}^2) \tag{18}$$

Se λ rappresenta il numero di parametri presi in esame per M_2, la significatività dei k parametri addizionali in M_2 che non sono inclusi in M_1 può essere valutata con una speciale forma della statistica test F, test di ipotesi basato sulla distribuzione F di Fisher-Snedecor e volto a verificare l'ipotesi che due popolazioni che seguono entrambe distribuzioni normali abbiano la stessa varianza, definita come segue:

$$F = [R^2(N - \lambda)]/[(1 - R^2)k] \quad (19)$$

Se ε(t) è anche indipendente e identicamente distribuita (i.i.d.), allora $F \sim F_{k,(N-\lambda)}$. Più genericamente, come un robusto criterio di approssimazione per confrontare M_1 nidificato in M_2, il F-ratio può essere valutato considerando la comune soglia dell'equazione (4). Grandi sono i valori del F-ratio denotano la maggiore significatività del modello esteso M_2 rispetto al più semplici M_1.

In questo studio, gli autori impiegano dati annuali di produzione di gas naturale (misurato in miliardi di metri cubi, BCM) di quattro stati confinanti in Asia del Sud (Bangladesh, India, Myanmar, and Pakistan), forniti dalla British Petroleum dal 1971 al 2011.

CAPITOLO 4 – CASI STUDIO

4.1 Bangladesh

4.2 Contesto storico del gas naturale in Bangladesh

La ricerca del petrolio nell'odierno Bangladesh cominciò negli ultimi anni del 19esimo secolo attraverso la cartografia geologica. Nel 1890 la prima scoperta di petrolio avvenne ad Assam. Tra il 1920 e il 1930 la compagnia scozzese Burmah Oil trivellò due pozzi petroliferi nella regione della Patharia che confermò la presenza di petrolio. Le attività esplorative subirono un'improvvisa interruzione per l'avvento della Seconda Guerra Mondiale e il Movimento indipendentista in India.

A seguito della separazione dall'India (1947), il Pakistan emise il cosiddetto "Pakistan Petroleum Act" nel 1948, seguito dal rilascio di concessioni nel 1950 alla compagnia americana Standard Vacuum Oil, alla Pakistan Petroleum Ltd. e alla Pakistan Shell Oil. La trivellazione di 16 pozzi rivelò la presenza di 7 giacimenti di gas naturale.

La prima compagnia nazionale, la Oil and Gas Development Corporation (OGDC), fu fondata e intraprese numerose campagne esplorative nel 1961. La Pakistan Petroleum Limited (PPL) scoprì la presenza di gas nella regione del Sylhet nel 1955 che rivelò per la prima volta l'esistenza di giacimenti di idrocarburi nel Pakistan dell'Est. La produzione di gas a fini commerciali cominciò nel 1960 con la fornitura di 4 mmcfd (Million Cubic Feet per Day) alla fabbrica di cemento Chatak.

Nel 1970 cominciò l'estrazione sistematica di gas naturale nel Paese e, in seguito all'indipendenza del Bangladesh dal Pakistan nel 1971, fu promulgato il Bangladesh Petroleum Act, che introdusse il regime fiscale di condivisione produttiva. Le area al largo del Bangladesh furono divise in 6 blocchi, che furono occupate dalle occidentali Ashland, ARCO, BODC (Japex), Union Oil, Canadian Superior Oil e Ina Naftaplin. In seguito a una serie di riforme, il Paese riuscì a limitare l'azione delle grandi imprese occidentali e a favorire quelle locali, come la Petrobangla e dalle sue filiali.

4.3 Bangladesh nel modello

Per quanto riguardo la produzione di gas naturale, l'estrazione in Bangladesh cominciò nel 1970. Si nota innanzitutto l'ottimo adattamento complessivo del modello di Bass Standard

espresso da un indice di determinazione, R^2, di 0.999488, molto elevato. Dal momento che nel data set preso in esame si osservano shock in punti temporali diversi, gli autori introducono il Modello di Bass Generalizzato per migliorare la previsione.

La *tabella 1* presenta i risultati ottenuti da il Modello di Bass Standard e il Modello di Bass Generalizzato con due shock esponenziali. I valori del test F e del BIC indicano che il Modello di Bass Generalizzato con due shock esponenziali (GBM2) esibisce un migliore e significativo adattamento ai dati osservati rispetto al Modello di Bass standard e ad un più semplice Modello di Bass con un solo shock esponenziale. In particolar modo, essendo BM e GBM modelli nidificati, è interessante calcolare il rapporto di correlazione multipla al quadrato:

$$P^2 = \frac{R^2_{GBM} - R^2_{BM}}{1 - R^2_{BM}} = \frac{0.999986 - 0.994438}{1 - 0.994438} = 0.972656 \qquad (20)$$

P^2 assume valori compresi tra 0 e 1, e dunque tanto più il valore è vicino a 1 tanto più il modello esteso ha una migliore capacità di spiegazione della devianza totale rispetto al modello ridotto; i valore ottenuto conferma le prime impressioni di miglioramento.

La *tabella 2* rappresenta le stime dei parametri per il Modello di Bass Generalizzato con due shock esponenziali. I rispettivi intervalli di confidenza dimostrano stabilità nelle stime per i parametri di penetrazione generale, che indicano un forte comportamento imitativo nella produzione di gas naturale. Infatti, la stima del parametro *q* è 0.0978616, valore molto più elevato del parametro *p*, cosa che indica che nella produzione di gas naturale la componente di imitazione ha avuto un ruolo preponderante nel processo di diffusione.

La *figura 4* confronta il consumo e la produzione di gas naturale in Bangladesh. Si può osservare come in questo Paese l'intera quantità di gas naturale prodotta soddisfi la domanda interna. Il parametro m fornisce una stima per la produzione cumulata fino al 2050 e oltre, che indica che, dal 2011, il Bangladesh ha esaurito quasi il 24% delle riserve di gas naturale disponibili.

Come indicato dalla predizione nella *Figura 5*, la produzione presenta ancora un andamento crescente, e il picco di produzione sarà osservato tra il 2021 e il 2026.

Nel processo si osservano due shock esponenziali, di parametri negativi (*b1*,*b2*<0), intorno al 1982≈(1971+a1) e al 1996≈(1971+a2). Il primo ha causato una accelerazione nella produzione, mentre il secondo ha provocato una contrazione (il segno di *c2* è sensibilmente negativo). Le conseguenze in termini storici di questi shock sono importanti. Il primo shock osservato può essere stato causato dalla scoperta di un nuovo giacimento di gas a Beani Bazar nel 1981 da

parte della Bangladesh Petroleum Exploration and Production Company Limited (BAPEX), che fu il primo giacimento di gas scoperto dopo l'indipendenza raggiunta nel 1971.

Dal 1995 al 2001, il Ministero dell'Energia e quello delle Risorse Minerarie incoraggiarono le compagni petrolifere internazionali a collaborare con la BAPEX nell'estrazione di petrolio e di altre risorse naturali in modo da espandere la limitata produzione. Tale approccio segnò l'inizio di una nuova era di scoperte di risorse naturali e risultò nella identificazione di un giacimento di gas al largo (Sangu nel 1996 da parte di Cairns Energy) e due giacimenti di gas sulla costa (Bibiyana nel 1997 e Moulovibazar nel 1998 da parte di Oxidental/Unicol), che accelerò la produzione. Attualmente, 23 giacimenti di gas sono stati scoperti e, di questi, 16 sono stati adibiti alla produzione.

Tabella 1 Bangladesh: selezione dei modelli

MODEL	R^2	df	$\check{R}^2_{VS,BM}$	$F_{VS,BM}$	$\check{R}^2_{VS,GBM1}$	$F_{VS,GBM1}$	RSS	BIC
BM	0.999488	38	-	-	-	-	129.33	58.2413
GBM1	0.999986	32	0.972656	189.712	0.70833	25.904	2.94	30.787

Tabella 2 Bangladesh: stima parametri per GBM con due shock esponenziali

PARAMETRI DEL MODELLO	STIME	ERRORE STANDARD	INTERVALLO DI CONFIDENZA AL 95%	
			Limite inferiore	Limite superiore
Generale, m	1191.53	269.049	643.491	1739.56
Penetrazione, p	0.000394248	0.0000663284	0.000259141	0.000529355
Parametri,q	0.0978616	0.0120549	0.0733064	0.122417
Prima osservazione, a1	11.3492	0.485556	10.3691	12.3382
Shock esponenziale, b1	-0.123598	0.0649745	-0.255947	0.00875072
Parametri, c1	0.570926	0.0818882	0.404125	0.737727
Seconda osservazione, a2	25.2846	0.367149	24.5367	26.0324
Shock esponenziale, b2	-0.108772	0.0768354	-0.26528	0.0477373
Paramtetri, c2	-0.164139	0.0254792	-0.216039	-0.11224

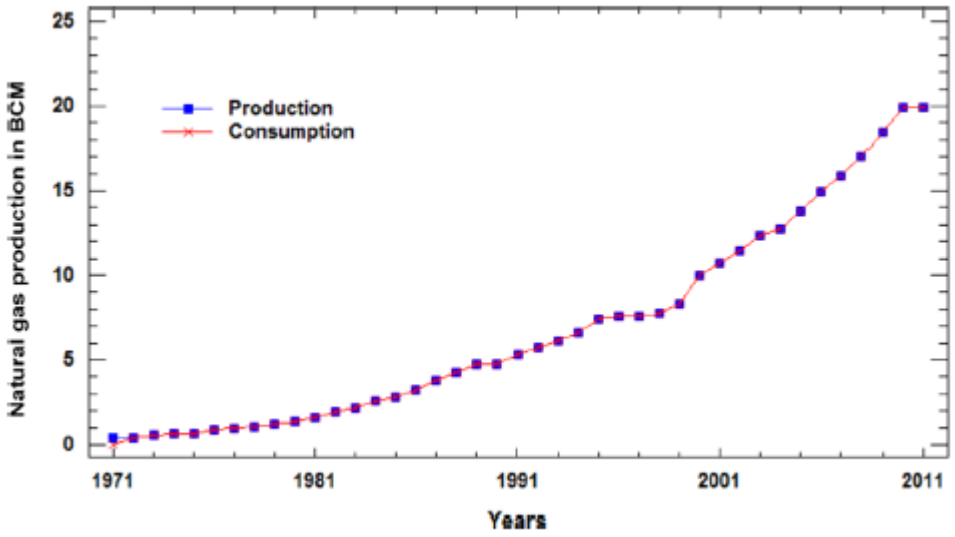

Figura 4 Bangladesh: produzione e consumo di gas naturale (dati misurati in BCM - Billion Cubic Metres)

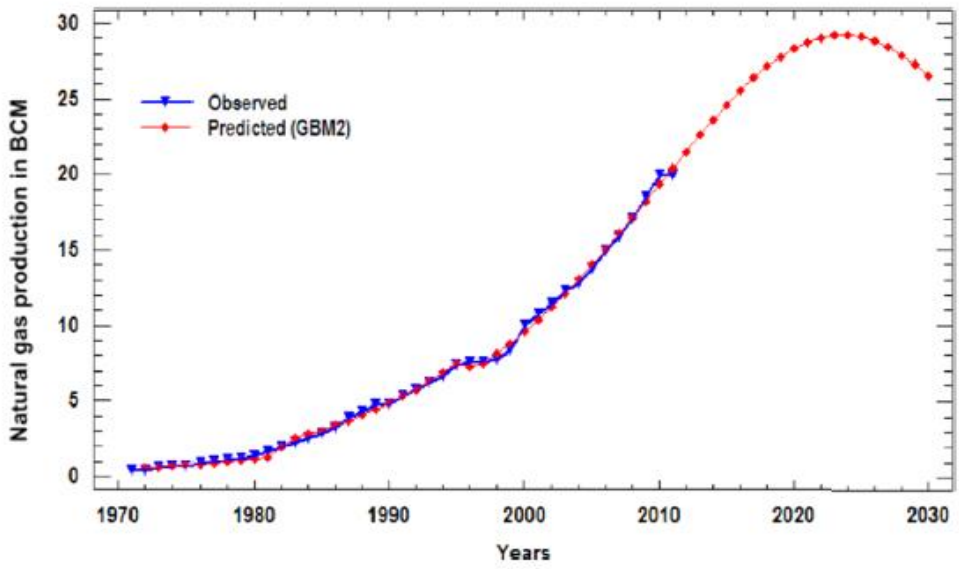

Figura 5 Bangladesh: effettiva produzione di gas naturale e predizioni stimate

4.4 Myanmar

4.5 Contesto storico del gas naturale in Myanmar

I primi esploratori britannici scoprirono in Myanmar una florida industria di estrazione di petrolio nella città di Yenangyaung nel 1795. L'area presentava centinaia di pozzi petroliferi scavati a mano sotto il controllo di 24 famiglie autoctone.

La British Burma esportò il primo barile di olio greggio nel 1853. Nel 1871 la Burmah Oil Company (BOC) con sede a Londra fu fondata e cominciò la produzione nella regione di Yenangyaung nel 1887 e nella regione di Chauk nel 1902. La BOC detenne il monopolio nel settore fino al 1901, quando l'americana Standard Oil Company intraprese operazioni in Myanmar. L'offerta di petrolio largamente soddisfava la domanda dell'India inglese. Prima della Seconda Guerra Mondiale e dell'invasione del Myanmar da parte dei Giapponesi, il Paese era solito produrre 6.5 milioni di barili di petrolio all'anno. In seguito all'indipendenza nel 1948, il Myanmar continuò ad essere uno tra i paesi più ricchi proprio per la sua industria del petrolio e le esportazioni in ambito agricolo.

Nel 1963, il governo socialista presieduto da Ne Win impose la nazionalizzazione del settore, causando decenni di stagnazione economica.

Dopo il 1989, la dittatura militare intraprese una politica di apertura del Paese per favorire l'investimento straniero. La Shell scoprì il giacimento di gas naturale di Apyauk, a 50 km a nord-ovest di Yangon nel 1991.

Attualmente il Myanmare è principalmente un produttore di gas naturale. Il Paese ha dimostrato di avere riserve di gas naturale pari a 10 TCF (Trillion Cubic Feet) nel 2012, con una capacità di produzione annua pari a 416 BCF (Billion Cubic Feet).

3.6 Myanmar nel modello

Nonostante sia stato tra i primi Paesi al mondo a intraprendere la produzione di petrolio, il Myanmar è stato a lungo un modesto produttore di gas naturale. Tuttavia, negli ultimi anni si è assistito ad un sostanziale incremento nella sua produzione e gran parte delle entrate del Paese attualmente provengono proprio dall'esportazione del gas naturale. Il processo di produzione ha vissuto frequenti salite e discese. Per l'analisi del data set del Myanmar, gli autori procedono inizialmente con la definizione del Modello di Bass standard, poi, con l'adattamento del Modello di Bass Generalizzato caratterizzato da due shock esponenziali (GBM1 e GBM2).

Sebbene sia stato osservato un piccolo sviluppo nel valore del coefficiente di determinazione R^2 per GBM2, GMB1 e GBM2 sono potenzialmente equivalenti (il secondo shock risulta insignificante), e l'intensità del secondo shock, *c2*, risulta essere zero. La maggiore variazione è dovuta all'intenso shock che si verificò intorno al 2000≈(1971+a1), che ha minimizzato gli effetti della perturbazione locale. Le stime dei parametri nel GBM1 e i risultati sono presentati nella *Tabella 4*. In particolar modo, si osserva che il rapporto di correlazione multipla al quadrato, indica che un GBM1 si esibisce meglio in termini di descrizione di dati e fini di predizione. Infatti,

$$P^2 = \frac{R^2_{GBM} - R^2_{BM}}{1 - R^2_{BM}} = \frac{0.999800 - 0.994438}{1 - 0.994438} = 0.964042 \tag{21}$$

Come in Bangladesh, la produzione di gas naturale in Myanmar dimostra un comportamento stabile e imitativo e ha già raggiunto il suo picco di produzione nel 2007. Infatti, la stima del parametro *q* è 0.100935, valore molto più elevato del parametro *p*, cosa che indica che nella produzione di gas naturale la componente di imitazione ha avuto un ruolo preponderante nel processo di diffusione.

Lo stabile parametro *m* fornisce una stima per la produzione cumulata fino al 2030 e indica che, dal 2011, il Myanmar ha esaurito il 65% delle sue risorse disponibili di gas, e, che nel futuro prossimo, il processo mostrerà un'improvvisa contrazione nella produzione di gas naturale se nuove scoperte non saranno fatte. Il processo di diffusione ha vissuto un forte shock (c1<1) intorno al 2000, che ha già concluso il suo corso (b1<0).

Nei primi anni '90, l'autorità militare del Myanmar ha concesso l'opportunità alle compagnie straniere di andare alla ricerca di petrolio e gas. Di conseguenza, due grandi giacimenti di gas al largo, Yadana e Yetagun, furono scoperti nel 1998, dotate rispettivamente di 150 BCM e 48 BCM di riserve. La produzione è cominciata nel 2000 e si è intensificata dopo il 2004, quando le autorità del Myanmar hanno esteso l'apertura alle esplorazioni di gas, e nuovi giacimenti di gas furono scoperti lungo la costa Arakan. Nel mentre, Myanmar concluse un accordo con Tailandia, Cina e India per la sicurezza energica e cominciò l'importazione di gas naturale. Attualmente, 27 compagnie proveniente da 13 paesi sono attive nell'industria del gas naturale e del petrolio in Myanmar.

Tabella 3 Myanmar: selezione del modello

MODEL	R^2	df	$P^2_{VS,BM}$	$F_{VS,BM}$	$\check{R}^2_{VS,GBM1}$	$F_{VS,GBM1}$	RSS	BIC
BM	0.994438	38	-	-	-	-	360.627	100.2858

GBM1	0.999800	35	0.964042	312.786	-	-	11.9735	-28.1845

Tabella 4 Myanmar: stima parametri di GBM con uno shock esponenziale

PARAMETRI DEL MODELLO	STIME	ERRORE STANDARD	INTERVALLO DI CONFIDENZA AL 95%	
			Limite inferiore	Limite superiore
Generale, m	226.262	24.3843	176.759	276.765
Penetrazione, p	0.00064712	0.00007451	0.00049586	0.00079837
Parametri, q	0.100935	0.003134	0.0945723	0.107297
Prima osservazione, a1	30.0146	0.191302	29.6263	30.403
Shock esponenziale, b1	-0.043977	0.0338031	-0.112601	0.024647
Parametri	1.71503	0.159097	1.39204	2.03801

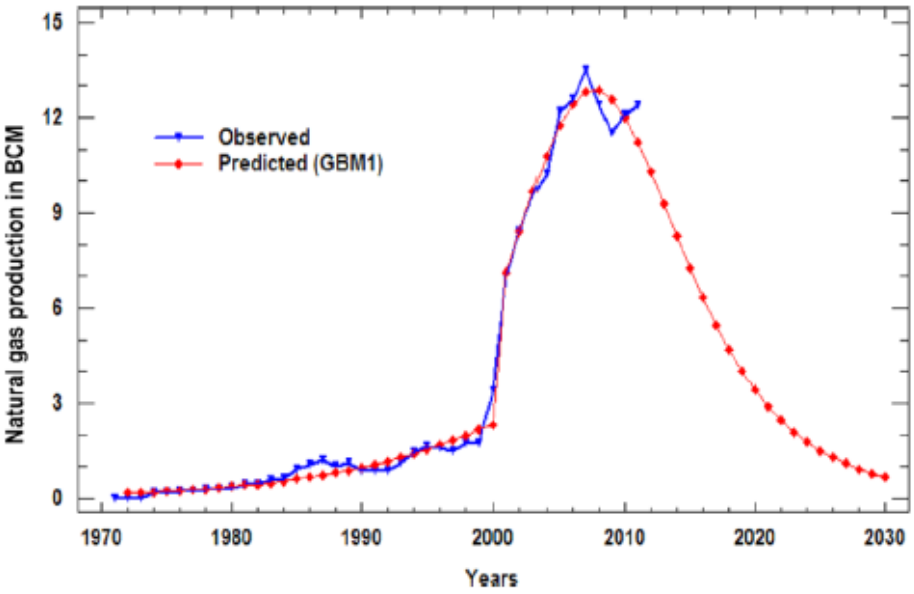

Figura 6 Myanmar: produzione di gas naturale osservata e produzione di gas naturale stimata

4.7 India

4.8 Contesto storico del gas naturale in India

L'esplorazione e la produzione iniziarono in India nel 19esimo secolo. Nel 1866, il primo pozzo petrolifero venne perforato e la prima scoperta commerciale venne fatta nel 1889 a Digboi. Le attività di esplorazione e produzione vennero in seguito sostenute esclusivamente dalle compagnie Assam Oil e Attock Oil.

Lo sviluppo delle industrie del gas e del petrolio avvenne realmente dopo l'indipendenza dell'India negli anni '50 e '60. Nel 1948, il Governo dell'India rilasciò la cosiddetta Industrial Policy Statement per favorire lo sviluppo dell'industria del petrolio in India. Fino al 1955, le compagnie private come la Burmah Oil/Assam Oil condussero progetti di esplorazione, ma la maggior parte dell'India, in particolar modo al largo, rimase inesplorata. Nel 1955, il Governo dell'India decise di sviluppare le risorse di petrolio e gas, creando la compagnia Oil and Natural Gas Directorate, alle dipendenze del Ministero delle Risorse Naturali e Scoperte Scientifiche. Nel 1956, il Governo adottò la Industrial Policy Resolution sottomettendo lo sviluppo dell'industria del petrolio alla responsabilità dello stato, trasformando il consiglio direttivo in una commissione (ONGC), la cui autorità progressivamente aumentò negli anni. Nel 1959 la Oil India Private Ltd fu fondata, i cui due terzi erano posseduti dalla Burmah Oil Company/Assam Oil Company e il resto dal Governo. Essa diventò una joint venture nel 1961 caratterizzata da equa suddivisione di proprietà. La produzione di gas da parte della OIL iniziò nel 1959 ad Assam, seguita da la ONGC a Gujarat nel 1964.

La domanda di gas rimase molto bassa fino agli anni '70 ma cominciò ad aumentare quando la Bombay High di ONGC ne cominciò la trattazione nel 1974. Nel 1981, la OIL divenne una compagnia interamente statale. Con la crescita della produzione di gas, divenne necessario sviluppare le attività mediane e a valle della catena distributiva del gas.

3.9 India nel modello

L'India, il settimo più grande paese al mondo e il quinto per consumo di energia per la sua economia e popolazione in rapida crescita, ha vissuto una grave crisi energetica negli ultimi anni. La produzione di gas naturale in India presenta un andamento in rapida crescita, ma non è comunque in grado di soddisfare metà della domanda, di conseguenza le autorità ricercano più importazioni e risorse alternative, come il shale gas. La struttura produttiva, secondo i dati osservati, mostra un comportamento standard imitativo, con un improvviso shock nel 2009. I

risultati di adattamento del modello mostrati nella *Tabella 5*, in particolar modo il rapporto di correlazione multipla al quadrato, indicano che un GBM2 si esibisce meglio in termini di descrizione di dati e fini di predizione. Infatti,

$$P^2 = \frac{R^2_{GBM} - R^2_{BM}}{1 - R^2_{BM}} = \frac{0.999991 - 0.998532}{1 - 0.998532} = 0.99391 \tag{22}$$

La *tabella 6* presenta le stime dei parametri del modello selezionato, e le stime dei parametri di penetrazione generale indicano che il processo di diffusione è caratterizzato da un forte comportamento imitativo. Infatti, la stima del parametro *q*, parametro di innovazione, è pari a 0.118954, valore molto più elevato rispetto a parametro *p*, cosa che conferma che la componente di imitazione ha avuto un ruolo preponderante nel processo di diffusione.

La produzione di gas naturale mostra un processo di diffusione standard con un improvviso salto nel 2008, e, dal 2011, quasi il 70% del gas URR è stato estratto.

Un importante, shock di segno negativo può essere osservato intorno al 1985≈(1971+a1), subito dopo che la compagnia statale Gas Authority of India Limited (GAIL) fu fondata per promuovere l'uso del gas e sviluppare strutture mediane e a valle del gas nel 1984. LaGAIL ha detenuto il monopolio nell'effettiva trasmissione e distribuzione del gas naturale fino al 2006. Alcune altre compagnie pubbliche/private, come la Reliance, furono successivamente invitate a unirsi alla linea produttiva per soddisfare l'alta domanda del Paese. Inoltre, probabilmente a causa della politica governativa di convertire veicoli a petrolio in motori a GNC (gas naturale compresso), il processo di produzione subì un ulteriore grande shock e intorno a metà del 2009≈(1971+a2). Sebbene l'India abbia iniziato a importare gas naturale da gasdotti e avesse concluso contratti con Myanmar, Qatar, Turkmenista, Pakistan e Israele nel 1994, la situazione potrebbe presto rivelarsi peggiore di quanto ci si aspettasse e l'India avrà bisogno di una grande quantità di importazioni per soddisfare la domanda di consumo interna.

Tabella 5 India: selezione del modello

MODEL	R^2	df	$P^2_{VS,BM}$	$F_{VS,BM}$	$\check{R}^2_{VS,GBM1}$	$F_{VS,GBM1}$	RSS	BIC
BM	0.998532	38	-	-	-	-	2068.82	171.9083
GBM2	0.999991	32	0.99391	870.419	0.98512	706.182	10.059	-24.1871

Tabella 6 India: stima dei parametri per GBM con due shock esponenziali

PARAMETRI DEL MODELLO	STIME	ERRORE STANDARD	INTERVALLO DI CONFIDENZA AL 95%	
			Limite inferiore	Limite superiore
Generale, m	903.351	21.7108	859.127	947.574
Penetrazione, p	0.000708234	0.000026245	0.000654775	0.000761693
Parametri, q	0.118954	0.00765065	0.10337	0.134538
Prima osservazione, a1	14.6661	0.261476	14.1335	15.1987
Shock esponenziale, b1	-0.0947156	0.0188191	-0.133049	-0.0563822
Parametri, c1	0.716346	0.0765113	0.560498	0.872195
Seconda osservazione, a2	38.542	0.0530763	38.4339	38.6501
Shock esponenziale, b2	-0.0430395	0.0656805	-0.176827	0.0907476
Paramtetri, c2	0.97833	0.0916385	0.791668	1.16499

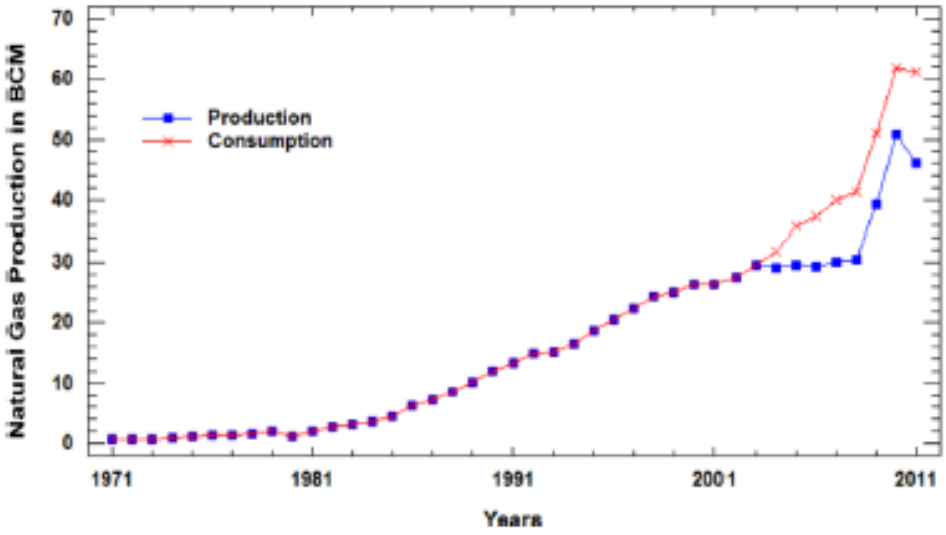

Figura 7 India: produzione e consumo di gas naturale osservati (dati misurati in BCM)

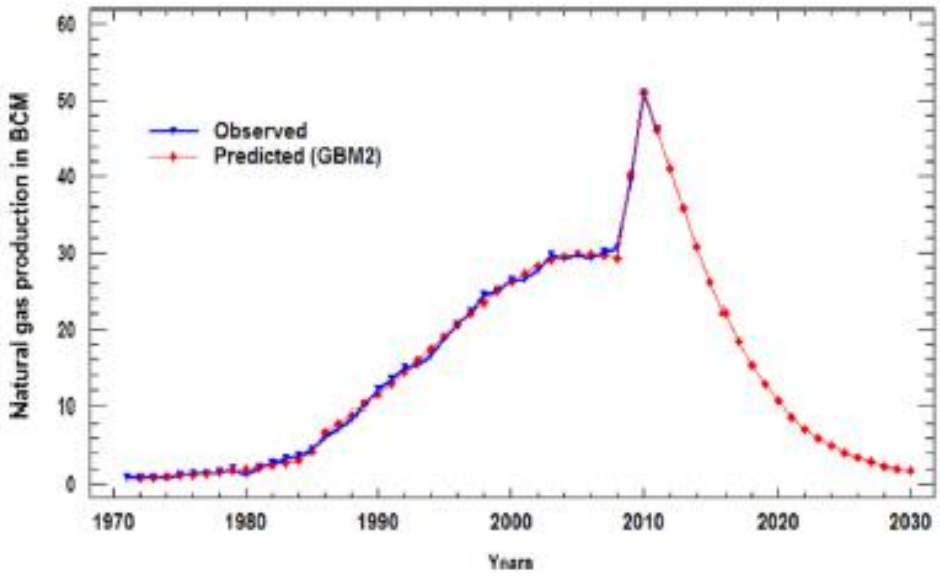

Figura 8 India: produzione di gas naturale osservata e produzione stimata (dati misurati in BCM)

4.10 Pakistan

4.11 Contesto storico del gas naturale in Pakistan

La storia del gas e del petrolio in Pakistan cominciò nel 19esimo secolo, quando il paese faceva ancora parte dell'India, sotto il dominio inglese. Il primo pozzo esplorato in Pakistan fu trivellato nel 1887, a Mianwali, Punjab, seguito da tredici pozzi in Balochistan, che produssero 25.000 barili di petrolio greggio nel periodo compreso tra il 1885 e il 1892. In seguito, le forze combinate delle compagnie Attock Oil (AOC) e Burmah Oil (BOC) portarono all'implementazione del petrolio in diversi settori nella regione del Potwar. Dopo l'indipendenza del Pakistan nel 1947, il Governo promulgò la *Regolamentazione delle Miniere e delle Aree petrolifere* e l'*Atto sullo Sviluppo Minerario* del 1948 con lo scopo di accelerare le attività di esplorazione e produzione nel paese.

Nel 1952, le riserve di gas stimate essere 10 Tcf (*Trillion Cubic Feet*) furono scoperte nel distretto di Sui in Balochistan.

A seguito della scoperta del gas naturale a Sui, il Governo del Pakistan sottoscrisse accordi di concessione di gas con diverse compagnie petrolifere internazionali – Standard-Vacuum Oil (1954). Hunt International Oil (1955), Shell Oil (1956), Sun Oil (1957) e Tidewater (1958) – che portarono a significative scoperte di gas in diversi giacimenti. Tuttavia, dal momento che le scoperte non portarono al petrolio, le attività di esplorazione diminuirono spingendo il governo a prendere la decisione di intraprendere l'esplorazione di idrocarburi direttamente attraverso nuove compagnie statali, come la Oil and Gas Development Corporation (OGDC), fondata nel 1961 e successivamente registrata come OGDCL.

Un'altra importante compagnia controllata dal governo fu la Pakistan Petroleum Ltd (PPL) che venne fondata nel 1950, operante sotto il controllo della Burmah Oil. Nel 1997 la Burmah Oil vendette le proprie azioni della Pakistan Petroleum Ltd al Governo del Pakistan. Attualmente la proprietà della Pakistan Petroleum Ltd è divisa tra il governo (71%), la PPL Employees Empowerment Trust (7%) e investitori privati (22%).

Nuove campagne di esplorazione di gas risultarono di successo e portarono all'apertura di nuove province di gas nelle regioni costiere a Sindh, Punjab e Balochistan. Un totale di 180 di pozzi vennero trivellati a fini esplorativi fino al settembre 2012, di cui 794 sulla costa e 16 al largo. Nel 2010 l'investimento nelle attività di trivellazione raggiunse i $810 milioni con 30 nuovi pozzi trivellati.

Oltre alle compagnie statali, diverse compagnie internazionali sono attive nei settori a monte in Pakistan come la BHP Billiton, MOL, ENI, OMV, Petronas, Schlumberger e Weatherford, la BP fu attiva in Pakistan per circa 35 anni, ma vendette le sue risorse di gas in seguito all'incidente Macondo nel 2010. ENI è attualmente la più grande compagnia internazionale con la produzione di 58.000 barili dalle sue strutture costiere e la partecipazione alle esplorazioni in diverse strutture fuori dalla costa.

4.12 Pakistan nel modello

Il Pakistan cominciò la sua produzione di gas naturale nei primi anni '60. Sfortunatamente, gli attuali data set non comprendono l'intera storia, e, ai fini comparativi, gli autori considerano la storia produttiva a partire dal 1971. Tale data set modificato deve essere descritto dal Modello di Bass traslato (BMT), che è in grado di identificare il punto di partenza anche per il processo di diffusione.

La *tabella 7* mostra i risultati per le diverse scelte di modelli nella versione traslata per una adatta descrizione del processo di diffusione dai data storici disponibili. Il test F del coefficiente di correlazione parziale non supporta una forte preferenza tra GBM1T e GBM2T (sono equivalenti), dunque gli autori procedono con un unico shock esponenziale GBM1T. Il grado di adattamento è notevolissimo R^2=0.999977, ciò significa che il modello spiega il 99,99% della variabilità totale dei dati, segno di un visibile miglioramento rispetto al modello di Bass standard traslato. L'intensità di tale miglioramento può essere misurata attraverso il calcolo del rapporto di correlazione multipla al quadrato:

$$P^2 = \frac{R^2_{GBM} - R^2_{BM}}{1 - R^2_{BM}} = \frac{0.999977 - 0.999635}{1 - 0.999635} = 0{,}936986301 \qquad (23)$$

Dunque, il modello esteso ha una migliore capacità di spiegazione della devianza totale rispetto al modello ridotto.

Le stime dei parametri e la predizione della diffusione proposti nella tabella 8 e nel grafico 10 dimostrano uno stabile e buono processo di diffusione per la produzione di gas naturale in Pakistan. La stima del parametro *q* è pari a 32.1567, valore molto più elevato rispetto al parametro *p*, a testimonianza del fatto che la componente di imitazione ha avuto un ruolo preponderante nel processo di diffusione. Sebbene il consumo di energia primaria sia cresciuta quasi dell'80% negli ultimi 15 anni, la produzione e il consumo di gas naturale mostrano un andamento crescente, che potrebbe essere dovuto al basso prezzo del gas e ad altri incentivi. La stima del parametro *d* indica che, sebbene la produzione sia iniziata pochi anni prima del punto

di partenza selezionato dagli autori, la storia non influenza il processo di diffusione nella pratica, e la stima di *m* suggerisce che quasi il 27% delle riserve di gas naturale sono state esaurite dal 2011. Il picco di produzione sarà osservato tra il 2020 e il 2025.

Il *grafico 10* mostra che il processo di produzione di gas naturale ha vissuto diversi shock. Il grande shock catturato dal modello, osservato intorno al 2003≈(1971+a1), fu probabilmente dovuto alla fusione di due compagnie di gas operanti nel settore privato, Karachi Gas Company e Indus Gas Company, con Sui Northern Gas Pipelines Limited e l'approvazione di un ingente numero di connessioni a livello domestico. Allo stesso tempo, il governo ordinò la conversione a gas naturale compresso dei veicoli, aumentando il consumo, e questo risultò in un improvviso salto nella produzione. Il report pubblicato dal Ministero del Petrolio e delle Risorse Naturali del Pakistan sostiene che il gas naturale rappresenta il 48% del mix energetico totale e che quasi il 28% di esso è usato per la generazione di elettricità. Per soddisfare l'addizionale consumo, il Pakistan ha sottoscritto accordi con Turkmenistan, Qatar e Iran.

Tabella 7 Pakistan: selezione del modello

MODEL	R^2	df	$P^2_{VS,BM}$	$F_{VS,BM}$	$\check{R}^2_{VS,GBM1}$	$F_{VS,GBM1}$	RSS	BIC
BMT	0.999635	37	–	–	–	–	528.907	119.7012
GBM1T	0.999977	34	0.936986	168.521	–	–	31.2548	25.7426

Tabella 8 Pakistan: stima dei parametri per GBM1 con uno shock esponenziale

PARAMETRI DEL MODELLO	STIME	ERRORE STANDARD	INTERVALLO DI CONFIDENZA AL 95%	
			Limite inferiore	Limite superiore
Generale, m	0.0666232	0.00205941	0.0624379	0.0708084
Penetrazione, p	-0.576818	0.134038	-0.849217	-0.304419
Parametri, q	32.1567	0.171246	31.8087	32.5048
Prima osservazione, a1	-0.140606	0.0486995	-0.239575	-0.0416361
Shock esponenziale, b1	0.418448	0.027464	0.362634	0.474261

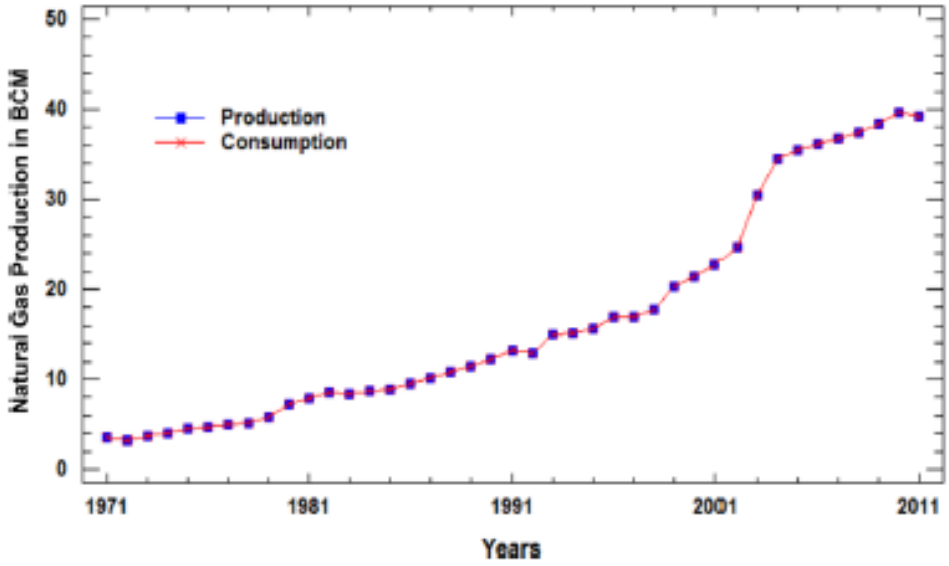

Figura 9 Pakistan: produzione e consumo di gas naturale osservati (dati misurati in BCM)

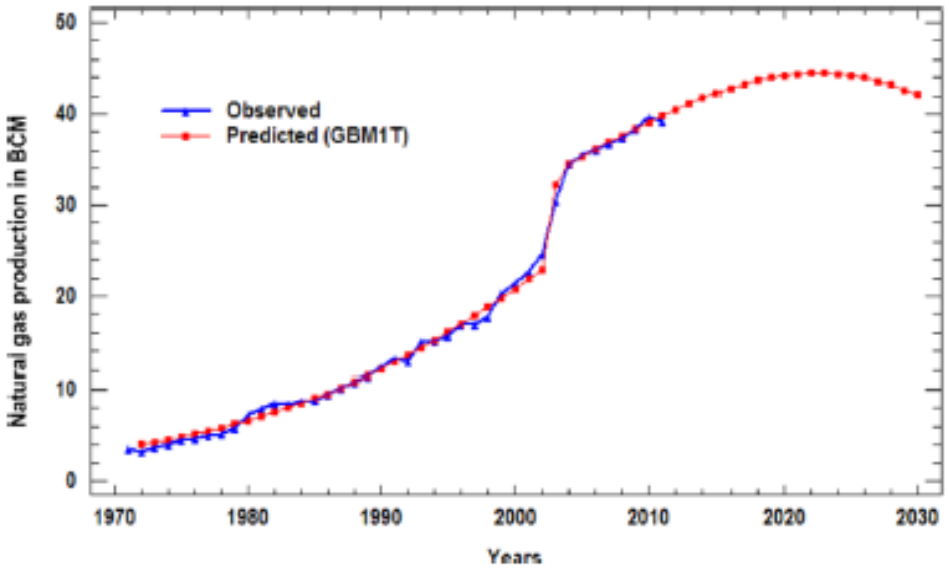

Figura 10 Pakistan: produzione di gas naturale osservata e produzione stimata (dati misurati in BCM)

CAPITOLO 5 – CONCLUSIONE

L'obiettivo principale di questo lavoro è stato la presentazione teorica di una particolare classe di modelli per la diffusione delle innovazioni, da applicare poi concretamente per la stima e previsione della produzione in un particolare contesto tecnologico, quello energetico. A tale scopo è stato approfonditamente descritto il modello di diffusione di Bass nelle sue due più importanti versioni, il modello standard (BM) e il modello generalizzato (GBM), e i relativi metodi di stima.

La modellazione di un sistema complesso che viene interrotto da fattori esogeni ed endogeni è non è né semplice né facile. Tuttavia, negli anni i ricercatori hanno cercato di superare le difficoltà e di modellare il processo in modo da individuare gli eventi maggiormente influenti nei trend osservati. I risultati ottenuti da Darda et al. (2015) hanno duplice importanza. Da una parte, la ricerca proposta spiega l'esistenza nella produzione di gas naturale nei Paesi selezionati sulla base delle serie storiche, dall'altra, dimostra la forza e l'efficacia dei modelli di diffusione nel catturare i fattori più importanti che hanno influenzato i trend di estrazione del gas naturale, con validità statistica.

BIBLIOGRAFIA

Bass F., Krishnan T. and Jain D. (1994) Why the Bass Model Fits Without Decision variables? Marketing Science, 13, 203–223.

Bass, F. (1969). A New Product Growth for Model Consumer Durables. Management Science, Vol. 15, No. 5, Theory Series (Jan., 1969), 215-227.

Beierlein, J.G., Dunn, J.W., McConnon Jr, J.G. (1981).The Review of Economics and Statistics., Vol. 63, No.

Corbeau, A-S. (2010). Natural Gas in India. International Energy Agency Working Paper.

Dalla Valle, A., Furlan, C. (2008). Forecasting accuracy of the Generalized Bass Model versus the most widespread diffusion models in wind power system. Atti della XLV Riunione Scientifica della Società Italiana di Statistica, CLEUP.

Darda, Md A., Guseo, R., Montarino, C. (2015). Nonlinear production path and an alternative reserves estimate for South Asian natural gas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 47 (2015), 654-664.

Gomes, I. (2013). Natural Gas in Pakistan and Bangladesh: current issues and trends. The Oxford Institute For Energy Studies, University of Oxford.

Guidolin, M., Mortarino, C. (2007). Cross-country diffusion of photovoltaic systems: modelling choices and forecasts for national adoption patterns. Working Paper Series, N. 18, December 2007. University of Padua.

Guseo, R. (2004). Interventi strategici e aspetti comunicativi nel ciclo di vita di innovazioni. Working Paper Series, N. 11, November 2014.

Guseo, R. (2008). I Processidi Diffusionedi Beni e Servizi: Estensione delle Equazioni di Riccati e Bass. 01/06/2008.

Herbert, J.H., Sitzer, S., Eades-Pryor, Y. (1987). A statistical evaluation of aggregate monthly industrial demand for natural gas in the U.S.A. Energy; 12 (12), pp. 1233-1238.

Hubbert, M.K. (1956). Nuclear Energy and the Fossil Fuels Drilling and Production Practice. Spring Meeting of the Southern District. Division of Production. American Petroleum Institute, San Antonio, Texas, Shell Development Company, pp. 22–27.

International Energy Agency. (2015). World Energy Outlook 2015. [Online]. Available at: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015ES_ITALIAN.pdf

Kayacan, E., Ulutas, B., Kaynak, O. (2010). Grey system theory-based models in time series prediction. Expert Systems with Applications 37 (2010) 1784–1789.

Rifkin, J. (2011). La terza rivoluzione industriale: come il "potere laterale" sta trasformando l'energia, l'economia e il mondo. Arnoldo Mondatori Editore S.p.A., Milano.

Rogers, E. M. (2003). The diffusion of Innovations, 5th ed., The Free Press, New York.

Rui, C., Jian, W., Li, W., Ningjie, Y., Pengyan, Z. (2009). The Forecasting of China Natural Gas Consumption Based on Genetic Algorithm. *Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC.*

Soldo, B. (2012). Forecasting natural gas consumption. *Applied Energy*, 92 (2012), 26-37.

UK Trade & Investment. (2015). Opportunities for British companies in Burma's oil and gas sector. [Online]. Available at: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/393763/UKTI_Burma_-_Oil_and_Gas_Report_-_Jan_2015.pdf

Wikipedia. Bass Diffusion Model. [Online]. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Bass_diffusion_model

Wikipedia. Criterio di informazione Bayesiano. [Online]. Available at: https://it.wikipedia.org/wiki/Criterio_di_informazione_Bayesiano