



Università degli Studi di Padova

DIPARTIMENTO DI SCIENZE STATISTICHE

Corso di Laurea Triennale in
Statistica per l'Economia e l'Impresa

RELAZIONE FINALE

**Il caso delle auto elettriche:
analisi e previsioni delle vendite per i modelli Renault**

Relatore:

Dott.ssa Mariangela Guidolin
Dipartimento di Scienze Statistiche

Candidato:

Arianna Nuvoli
Matricola 1100869

Indice

Introduzione	4
1 Le auto elettriche: storia e descrizione dei modelli analizzati	7
1.1 Breve storia dell'auto elettrica	7
1.2 I modelli Renault	8
1.2.1 Fluence Z.E.	8
1.2.2 Kangoo Z.E.	9
1.2.3 Zoe	9
2 Diffusione di un'innovazione: il modello di Bass e il modello GGM	11
2.1 Il modello di Bass	14
2.2 Il modello GGM o con potenziale variabile	16
2.2.1 Posizionamento temporale della fasi di comunicazione e adozione	20
2.3 Aspetti di stima e identificazione statistica: minimi quadrati non lineari	22
2.4 L'analisi dei residui e la statistica di Durbin-Watson	24
2.5 L'affinamento ARMAx	28
3 Analisi statistica di dati di vendita: le auto elettriche Fluence Z.E., Kangoo Z.E., Zoe	31
3.1 Analisi dei dati di vendita: Fluence Z.E.	31
3.1.1 Affinamento ARMAx (o SARMAx)	39
3.2 Analisi dei dati di vendita: Kangoo Z.E.	40

3.2.1	Affinamento ARMAx (o SARMAx)	48
3.3	Analisi dei dati di vendita: Zoe	49
3.3.1	Come andranno le vendite di Zoe in futuro?	56
3.4	Confronto dei i risultati ottenuti applicando i modelli di dif- fusione	56
3.4.1	I risultati del modello di Bass	56
3.4.2	I risultati del modello GGM	57
	Conclusioni	58
	Bibliografia	61

Introduzione

L'obiettivo di questa relazione finale è l'analisi delle serie di vendita di tre automobili elettriche prodotte dall'azienda francese Renault: Fluence Z.E., Kangoo Z.E., Zoe. Questi tre modelli fanno parte di un progetto Renault che ha come fine quello di produrre auto ad emissioni zero: lo scopo di questa relazione è approfondire e comprendere come si è evoluto questo progetto e come potrà evolvere nel futuro, soffermandosi sulle caratteristiche di ciascuna delle tre auto.

Le serie analizzate sono composte dai dati messi a disposizione mensilmente sul sito di Renault, e partono tutte dall'uscita sul mercato di ciascun modello: gennaio 2011 per Fluence Z.E., febbraio 2011 per Kangoo Z.E. e maggio 2012 per Zoe. I dati sono disponibili fino a marzo 2017.

Gli strumenti di cui ci si avvarrà nell'analisi sono i modelli di diffusione, in quanto ci troviamo di fronte a prodotti che possono essere considerati delle innovazioni caratterizzate da un ciclo di vita limitato in cui è possibile riconoscere il contributo dato da consumatori pionieri e dal passaparola. In particolare verranno utilizzati il modello di Bass (BM) e una sua estensione, il modello GGM, che, a differenza del modello di Bass, considera il mercato potenziale come una variabile dipendente dal tempo t e non come una costante. Si cercherà poi di perfezionarli, correggendo la problematica di autocorrelazione dei residui di cui spesso tali modelli sono affetti con la tecnica dell'affinamento ARMAx (o SARMAx).

La relazione è articolata in tre capitoli:

Nel *primo capitolo* si illustra brevemente la storia dell'auto elettrica per poi descrivere le tre tipologie di automobili che saranno analizzate successivamente.

Nel *secondo capitolo* vengono introdotti il concetto di innovazione e la relativa teoria del ciclo di vita del prodotto; in seguito vengono esposte nel dettaglio le caratteristiche del modello di Bass e del GGM, con alcuni approfondimenti relativamente ad aspetti di stima ed identificazione statistica. Infine ci si sofferma a discutere l'analisi dei residui nelle sue varie modalità ed eventuali correzioni per problematiche di autocorrelazione degli stessi.

Nel *terzo capitolo* si passa all'applicazione pratica, si descrive l'adattamento dei due modelli sulle tre serie storiche, il possibile andamento futuro delle vendite e per finire vengono confrontati i risultati ottenuti nelle tre serie. Seguono alcune conclusioni finali relativamente al mercato delle auto elettriche.

Capitolo 1

Le auto elettriche: storia e descrizione dei modelli analizzati

1.1 Breve storia dell'auto elettrica

L'auto elettrica a batteria (BEV) fu una delle prime tipologie di automobile ad essere inventata, sperimentata e commercializzata nei primi anni dell'800. Pochi anni prima del 1900, prima della preponderanza del potente ma inquinante motore a combustione interna, le auto elettriche detenevano molti record di velocità e distanze percorse con una carica e nel corso dei primi anni del novecento per un certo tempo vendettero di più rispetto ai veicoli a benzina. In seguito questi veicoli vennero venduti con successo come town car a clienti delle classi agiate, e venivano spesso commercializzati come veicoli appropriati al sesso femminile, grazie alla loro operatività semplice, pulita e poco rumorosa.

Il successo delle auto elettriche non sarebbe però durata a lungo. Con gli sviluppi della seconda rivoluzione industriale e la scoperta di nuovi giacimenti petroliferi, le vetture a benzina, a differenza di quelle a trazione elettrica, migliorarono notevolmente in prestazione e affidabilità, ottenendo una posizione dominante nel mercato. Le auto elettriche non riuscirono più a competere con i modelli a benzina, visti i maggiori costi e limiti in velocità, autonomia e prestazioni.

L'interesse per le auto elettriche si riaccese solamente negli anni Sessanta-Settanta prima con le battaglie dei movimenti ecologisti e poi con la crisi petrolifera connessa alle vicende mediorientali, che diminuì la disponibilità della benzina e ne aumentò i prezzi. Le principali case automobilistiche, incentivarono la ricerca e svilupparono vari prototipi elettrici, ma questi entusiasmi non furono destinati a durare. Il settore elettrico non riuscì a risolvere un problema fondamentale, quello della scarsa capacità di immagazzinamento dell'energia da parte delle batterie, e soprattutto per questo motivo il primato dei motori a combustione rimase inalterato.

Negli anni Novanta ritornò l'interesse per la mobilità sostenibile, a causa delle continue crisi petrolifere e i guasti provocati dai gas serra che allarmavano sempre di più l'opinione pubblica, ma non si registrò un'inversione di rotta. Nel nuovo millennio, la ricerca di una mobilità sostenibile pare sempre più all'ordine del giorno nell'agenda della comunità internazionale. Le principali case automobilistiche sono impegnate in attività di ricerca e sviluppo sulle auto elettriche per superare i conosciuti limiti di velocità, autonomia, tempi di ricarica e disponibilità di infrastrutture (ad es. le colonnine di ricarica), in modo tale che questo tipo di automobili riesca a competere con i mezzi tradizionali basati sui combustibili fossili.

1.2 I modelli Renault

Nella seconda metà degli anni 2000, la Renault ha investito diverse risorse per il programma Z.E. (Zero Emissions), finalizzato alla realizzazione di una intera gamma di vetture a trazione totalmente elettrica e a impatto zero sull'ambiente. Tali ingenti investimenti hanno via via preso forma in una decina d'anni, fino a che nel 2009 sono stati presentati i primi prototipi.

1.2.1 Fluence Z.E.

La Renault Fluence Z.E. è la versione elettrica della berlina Fluence. Presentata al Salone dell'auto di Francoforte nel 2009 e lanciata nel mercato nel 2011, la berlina elettrica era caratterizzata da una velocità massima di 135

km/h e un'autonomia di 160 km. Le batterie di quest'auto erano fornite della start up Better Place, che progettava di costruire una rete di stazioni di rifornimento per auto elettriche con il sistema quick drop. Le batterie, cioè, in questi speciali distributori non venivano caricate ma sostituite, assicurando così agli automobilisti la massima carica in breve tempo. La Fluence Z.E. non è più prodotta dal 2014, a causa dello scarso successo commerciale e del fallimento del fornitore delle batterie Better Place.

1.2.2 Kangoo Z.E.

Kangoo Z.E., versione elettrica del furgoncino Renault Kangoo, è stato presentato al Salone di Hannover nel 2010 e, in versione 'Maxi', al salone di Ginevra nel 2011 ed è in commercio dal 2011. La batteria può essere acquistata con l'automobile o noleggiata a parte e ha un'autonomia di circa 160 km/h.

1.2.3 Zoe

Zoe è una vettura utilitaria ad alimentazione elettrica prodotta e venduta dal 2012. Come nel caso di Kangoo Z.E., la batteria può essere acquistata con l'auto o noleggiata, ha un'autonomia di circa 150 km e può raggiungere fino ai 135 km/h di velocità. A fine 2016 è stata messa in commercio una nuova batteria che può raggiungere i 400 km di autonomia.

Capitolo 2

Diffusione di un'innovazione: il modello di Bass e il modello GGM

A partire dagli anni '60, si è assistito alla concezione e allo sviluppo di diversi modelli che descrivono la diffusione di un bene, un prodotto, in particolare un'innovazione. Con diffusione si intende il processo con cui un'innovazione viene trasmessa nel tempo ai membri di un sistema sociale attraverso determinati canali (Rogers, 2003) e con innovazione ci si riferisce a un nuovo prodotto, nuovo servizio, nuova tecnologia, nuovo processo di produzione, nuova forma organizzativa (Schumpeter, 1947). Un'innovazione è sia qualcosa di nuovo, come un nuovo prodotto che crea un nuovo mercato (innovazione radicale), ma può essere anche un miglioramento di qualcosa di già esistente (innovazione incrementale). Le innovazioni radicali sono di più difficile attuazione, molto spesso infatti ci si può trovare di fronte ad un'inerzia del sistema, cioè barriere che ostacolano la penetrazione nel mercato, oppure ci può essere un problema di esternalità di rete: molti prodotti non hanno valore se rimangono isolati e per essere utili necessitano di prodotti simili o complementari. Si possono definire cinque attributi per l'innovazione:

- **Vantaggio relativo:** grado di miglioramento ottenuto con il nuovo prodotto.
- **Compatibilità:** livello di coerenza dell'innovazione con i valori esistenti (etica), esperienze e bisogni dei consumatori.

- **Complessità:** livello di difficoltà per la comprensione e l'uso dell'innovazione.
- **Testabilità:** possibilità di testare l'innovazione per un periodo limitato (comprensione del rischio).
- **Osservabilità:** quanto le conseguenze dell'adozione di un'innovazione sono visibili ad altri.

Nonostante le modalità con cui un'innovazione può diffondersi siano le più disparate, esiste un risultato ricorrente nelle ricerche: se disegniamo il grafico delle adozioni cumulate nel tempo otteniamo una curva che ha quasi sempre una forma ad S. Gran parte dei modelli di diffusione si basa sull'identificazione e lo studio di questa curva.

Per quanto riguarda invece le adozioni non cumulate, Rogers ha ipotizzato che possano avere la forma di una distribuzione normale cioè una forma campanulare. In un disegno di questo tipo si possono distinguere chiaramente delle fasi che si susseguono all'interno del ciclo di vita di un'innovazione:

1. **Introduzione:** si cerca di costruire il mercato il più velocemente possibile in modo da acquisire una consistente quota di mercato. Lo sforzo promozionale, qui, è finalizzato a informare e incoraggiare la prova del prodotto.
2. **Crescita:** in questa fase l'enfasi principale è sulla costruzione del mercato. Lo sforzo promozionale è finalizzato ad incoraggiare la ripetizione dell'adozione.
3. **Maturità:** si cerca di mantenere la quota di mercato. Lo sforzo promozionale è rivolto a stimolare la fedeltà alla marca.
4. **Declino:** gli investimenti vengono ridotti drasticamente e si raccoglie il profitto delle ultime vendite.

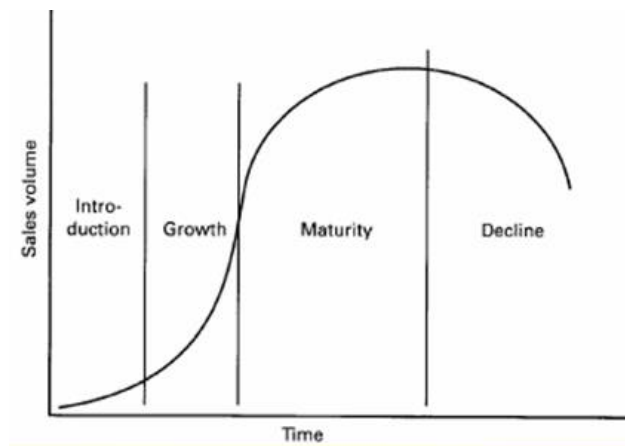


Figura 2.1: Ciclo di vita di un'innovazione

Rogers ha poi suggerito anche una distinzione tra i tipi di adottanti in base a quando, all'interno del ciclo di vita, adottano il nuovo prodotto: inizialmente ci sono gli innovatori (*innovators*), seguono poi gli adottanti precoci (*early adopters*), la maggioranza precoce (*early majority*), la maggioranza ritardataria (*late majority*) e infine i ritardatari (*laggards*).

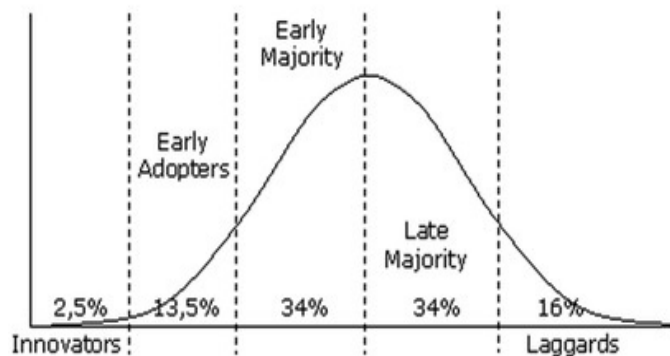


Figura 2.2: Le categorie di adottanti descritte da Rogers

Descrivere il processo di diffusione di un'innovazione attraverso dei modelli è importante, perchè permette di prevedere l'andamento futuro di un processo già in corso, ma anche di spiegare teoricamente le dinamiche dello stesso, in relazione al contesto sociale o a particolari scelte strategiche effettuate.

Per quanto riguarda la modellazione, il ciclo di vita di un prodotto è una serie storica, in quanto i dati sono ordinati cronologicamente. Ciò nonostante l'approccio con i consueti modelli ARIMA per serie storiche si rileva solitamente inadeguato, perchè molto spesso le serie di nuovi prodotti sono molto corte e caratterizzate da evidente non stazionarietà, dovuta a meccanismi di inizializzazione nella fase di lancio e saturazione del mercato nella fase conclusiva. In questo capitolo vengono descritti dei modelli costruiti appositamente per la modellazione di cicli di vita di prodotti innovativi, quali il modello di Bass (Bass, 1969) e il modello GGM (Guseo e Guidolin, 2009), che ci permetteranno poi di eseguire un'analisi statistica del processo di diffusione in Europa di alcune tipologie di auto elettriche Renault.

2.1 Il modello di Bass

Il modello di Bass è stato introdotto dal professore di marketing Frank Bass nel 1969.

Esso divide i consumatori in due gruppi disgiunti: gli innovatori e gli imitatori. Ciò che differenzia questi due gruppi di potenziali adottanti è il tipo di risorsa tramite cui vengono informati: un'informazione esterna (es. mass media) caratterizza gli innovatori, mentre una di tipo interno (passaparola) influenza gli imitatori. Formalmente il modello è espresso da una equazione differenziale del primo ordine:

$$z'(t) = \left(p + q \frac{z(t)}{m} \right) (m - z(t)) \quad (2.1)$$

L'equazione 2.1 indica che, le vendite istantanee, $z'(t)$, al tempo t sono proporzionali al mercato residuo $(m - z(t))$, dove m è il mercato potenziale che è costante per tutto il ciclo di vita e $z(t)$ sono le vendite cumulate al tempo t . In particolare la variazione istantanea delle vendite è la risultante della somma di due componenti: la prima $p(m - z(t))$ rappresenta, attraverso il parametro p , l'effetto di una componente innovativa presente nel processo dovuto principalmente ad un'azione esterna (mass media,

pubblicità ecc.). Il gruppo degli innovatori è essenziale per il decollo della diffusione del prodotto, quindi il suo contributo sarà massimo all'inizio del ciclo e diminuirà man mano, rimanendo però sempre presente in ogni fase del processo. Si noti, infatti, che al tempo $t = 0$, $z(0) = pm$ che è il livello costante di potenziali adottanti all'inizio del processo, composto solo da innovatori.

La seconda parte dell'equazione, $q(\frac{z(t)}{m})(m - z(t))$, esprime invece, attraverso il parametro q , l'effetto imitativo presente nel processo di diffusione, dovuto per la maggior parte al cosiddetto passaparola. L'effetto di q è modulato dal rapporto $\frac{z(t)}{m}$ che rappresenta la pressione esercitata sugli imitatori, tramite il passaparola di coloro che hanno già acquistato per primi l'innovazione. Come gli innovatori sono necessari per l'avvio del ciclo di vita, gli imitatori sono cruciali per il suo sviluppo e la sua crescita.

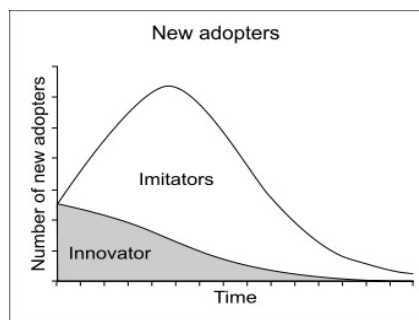


Figura 2.3: Le classi di adottanti previste dal modello di Bass

Perciò la teoria alla base del modello di Bass prevede l'adozione, in primis, di una cerchia ristretta di innovatori che acquistano per primi il prodotto, sulla base di un convincimento personale maturato grazie a fonti esterne come pubblicità e mass media e solo successivamente, grazie al passaparola e ai consigli di coloro che hanno già provato l'innovazione, acquisteranno il prodotto anche i cosiddetti imitatori.

Ponendo $y(t) = \frac{z(t)}{m}$ possiamo riscrivere il modello di Bass in questo modo:

$$y'(t) = (p + qy(t))(1 - y(t)) \quad (2.2)$$

Nella 2.2 $y(t)$ è una funzione di ripartizione e $y'(t)$ è la corrispondente

densità. La ripartizione è riferita all'indice temporale t ed esprime, quindi, la probabilità che l'evento si sia verificato non oltre t . Inoltre dalla 2.2 si può ottenere un'equazione che ridefinisce il modello di Bass come *Hazard rate*:

$$\frac{y'(t)}{1-y(t)} = p + qy(t) \quad p, q > 0 \quad (2.3)$$

Quest'ultima equazione esprime il fatto che la probabilità che un individuo adotti un bene, condizionatamente al fatto che non l'abbia già adottato, è uguale alla somma di due eventi indipendenti p e $qy(t)$, questo implica che non si possa essere contemporaneamente innovatori e imitatori e che, dunque, ogni possibile adottante non possa essere condizionato all'adozione sia dai mass media sia dal passaparola.

La soluzione in forma chiusa del modello di Bass è definita come:

$$y(t) = F(t; p, q) = \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p}e^{-(p+q)t}} \quad (2.4)$$

ovvero, dato che $z = ym$:

$$z(t) = mF(t; p, q) = m \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p}e^{-(p+q)t}} \quad (2.5)$$

Il modello di Bass è molto importante per lo studio dei processi di diffusione e costituisce la base di molti modelli più complessi che lo utilizzano come punto di partenza.

2.2 Il modello GGM o con potenziale variabile

Il modello di Bass presenta il limite di considerare un mercato potenziale che rimane sempre costante all'interno del ciclo di vita, e ciò può risultare talvolta una scelta limitante. In particolare, la variabilità può essere evidente nella prima fase del processo di diffusione, chiamata fase d'incubazione, quando il successo dell'innovazione è ancora incerto, e in cui

le azioni di marketing e management, atte a far conoscere il prodotto, sono cruciali per stimolare il decollo delle vendite.

Come risaputo, pubblicità ed altri sforzi promozionali esercitano maggior effetto nella fasi di lancio, mentre altri tipi di comunicazione come il passaparola possono spiegare vendite posteriori. Perciò, spesso si ha che la fase di adozione co-evolve con un processo di comunicazione dinamico che indirettamente genera un mercato potenziale non costante, influenzando così anche la fase di adozione.

Il modello GGM (Guseo e Guidolin 2009), considerate queste valutazioni, descrive un processo con mercato potenziale dipendente dal tempo, $m(t)$, e composto di due fasi, una di comunicazione che porta a una conoscenza e quindi una consapevolezza dell'innovazione e poi la fase vera e propria di adozione.

L'idea base del modello trae origine dal concetto di '*absorptive capacity*' (Cohen e Levinthal 1990), ovvero "l'abilità di riconoscere il valore di una nuova informazione, assimilarla e utilizzarla". Questa capacità di comprensione di un'innovazione è tanto maggiore quanto maggiore è il livello di conoscenza posseduta sull'argomento. Si tratta, quindi, di una nozione estesa di consapevolezza che incorpora la persuasione ad agire o ad attuare qualcosa. In uno specifico contesto sociale l'adozione di un'innovazione può essere la prova dell'esistenza di un'*absorptive capacity*, inoltre l'abilità di assimilare e accettare una novità può essere vagliata semplicemente attraverso il processo di vendita osservato e, in particolare, potrebbe essere rappresentata dal mercato potenziale $m(t)$. Per comprendere l'*absorptive capacity* di un contesto sociale è importante considerare la sua struttura di comunicazione, dato che il processo di accumulazione della conoscenza in un sistema sociale avviene attraverso il trasferimento di informazioni tra i componenti del sistema e di conseguenza attraverso la comunicazione. Una struttura di comunicazione può essere vista come un insieme di collegamenti tra le unità del sistema; lo sviluppo di una conoscenza collettiva è, così, rappresentabile come un network in continua evoluzione in cui alcuni legami nascono, certi si sviluppano e altri muoiono. Considerare il mercato potenziale $m(t)$ come una funzione di

questo processo di conoscenza, implica farlo dipendere da una rete di connessioni che cambiano nel tempo.

Sebbene la teoria di diffusione dell'innovazione si basi sulla comunicazione, il modello di Bass non esplora l'effetto della comunicazione sulla fase di adozione, forse a causa della complessità del processo di comunicazione. Molte discipline, come la fisica, la biologia, l'ecologia hanno sviluppato modelli che indagano su come sistemi complessi (come la comunicazione) evolvono. Tra questi, gli automi cellulari sembrano essere utili nel campo economico e sociale. Un automa cellulare consiste in un numero finito di individui o celle che interagiscono tra loro in un determinato ambiente. Ogni cella può assumere un particolare stato, in relazione allo stato precedente e alle informazioni ricevute interagendo con le altre celle. I cambiamenti di una cella sono controllati da una regola di transizione che considera, in particolare, le varie interazioni. Il vantaggio che forniscono i modelli basati sugli automi cellulari, è quello di osservare l'evoluzione di una data struttura attraverso l'analisi di ogni singola interazione che avviene tra le sue componenti, per questo motivo il loro utilizzo si adatta bene all'analisi di cicli di vita. Nel caso del modello GGM, si usa una rete di automi cellulari (*automa cellular network*, NA) per descrivere un insieme di connessioni tra agenti che scambiano tra loro informazioni su una particolare innovazione. In questa circostanza, le unità di analisi per gli automi cellulari sono le relazioni interpersonali, relazioni standard tra due differenti agenti o relazioni riflessive se ci si riferisce a qualcuno che attua dell'auto comunicazione. Si suppone che l'attivazione di una relazione possa accadere o attraverso la comunicazione istituzionale o attraverso un processo di passaparola, che può essere comunicazione interpersonale oppure segnali dovuti a precedenti adozioni. D'altro canto può anche però succedere che una relazione non rimanga attiva, questo può accadere con un naturale e autonomo processo di decadimento o a causa di un passaparola negativo, dovuto a resistenze agli effetti dell'innovazione. Questa reazione è tipica quando l'innovazione crea insoddisfazione e performance inadeguate. La novità introdotta dal modello GGM è, appunto, considerare all'interno della modellazione di un processo di diffusione una fase di comunicazione

che affianca e si evolve con la fase di adozione del prodotto.

Nel caso in cui la comunicazione sia persistente e non sia caratterizzata da nessun effetto di decadimento o da passaparola negativi, il modello GGM definisce il mercato potenziale come:

$$m(t) = k \sqrt{\frac{1 - e^{-(p_c+q_c)t}}{1 + \frac{q_c}{p_c} e^{-(p_c+q_c)t}}} \quad (2.6)$$

I parametri p_c e q_c rappresentano rispettivamente la componente innovativa e imitativa presenti all'interno del processo di comunicazione, mentre K è il parametro di scala del processo che indica il numero di persone informate al tempo t , ed è tale per cui $\lim_{t \rightarrow \infty} m(t) = k$, ovvero la situazione nella quale tutti coloro che sono informati divengono potenziali adottanti.

L'espressione conferma come il mercato potenziale dipenda da un processo di diffusione dell'informazione che consente di acquisire una conoscenza e una consapevolezza dell'innovazione.

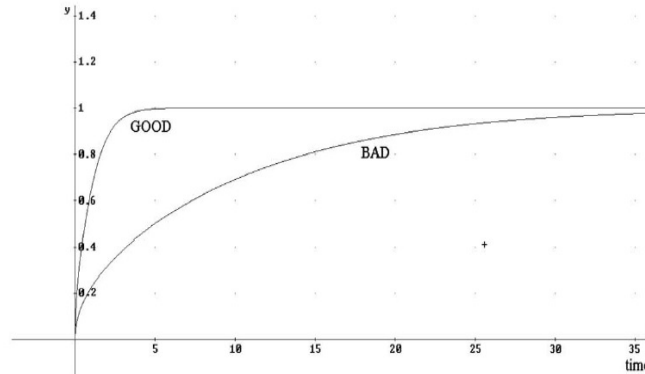


Figura 2.4: Due mercati potenziali normalizzati ($k=1$) dipendenti dal tempo. Comunicazione buona (*Good*): $p_c = 0.15$, $q_c = 0.90$, comunicazione insoddisfacente (*Bad*): $p_c = 0.01$, $q_c = 0.06$.

Posti i vincoli $y(0) = 0$ e $y(t) = 0$ per $t < 0$, il modello GGM assume la forma di un'equazione differenziale di primo grado:

$$y'(t) = m(t) \left\{ -r_s \frac{y(t)}{m(t)} + \left(p_s + q_s \frac{y(t)}{m(t)} \right) \left(1 - \frac{y(t)}{m(t)} \right) \right\} x(t) + y(t) \frac{m'(t)}{m(t)} \quad (2.7)$$

Nell'equazione (2.7) $y'(t)$ sono le vendite istantanee al tempo t , mentre $y(t)$ rappresenta le corrispondenti vendite cumulate al tempo t ; p_s e q_s sono gli usuali parametri utilizzati nel modello di Bass che caratterizzano l'innovazione e l'imitazione, r_s spiega invece la presenza di un possibile effetto di decadimento. La funzione $m(t)$ indica il mercato potenziale dinamico e infine $x(t)$ è una funzione d'intervento che descrive possibili effetti esogeni che possono modificare il ciclo di vita. Si noti che il secondo addendo $y(t) \frac{m'(t)}{m(t)}$ può aumentare o deprimere le vendite a seconda del segno di $m'(t)$. Omettendo per semplicità l'effetto di decadimento, si ottiene la seguente versione dell'equazione 2.7 in forma chiusa:

$$y(t) = m(t) \frac{1 - e^{-(p_s+q_s) \int_0^t x(t) dt}}{1 + \frac{q_s}{p_s} e^{-(p_s+q_s) \int_0^t x(t) dt}} \quad (2.8)$$

e quindi evidenziando anche la fase comunicativa si avrà:

$$y(t) = k \sqrt{\frac{1 - e^{-(p_c+q_c)t}}{1 + \frac{q_c}{p_c} e^{-(p_c+q_c)t}} \frac{1 - e^{-(p_s+q_s) \int_0^t x(t) dt}}{1 + \frac{q_s}{p_s} e^{-(p_s+q_s) \int_0^t x(t) dt}}} \quad (2.9)$$

Quando i valori di p_c e q_c sono molto alti e quindi la comunicazione è così rapida da portare subito ad un'adozione, la parte dell'equazione 2.9 che identifica la comunicazione presenta un valore pari ad uno che ci riconduce al modello di Bass standard. Il modello di Bass è, perciò un caso particolare del modello con potenziale variabile che ne aumenta la complessità. Spesso questa maggior complessità del modello GGM porta a risolvere problematiche come la sovrastima nella prima parte del ciclo e la sottostima delle ultime osservazioni che il modello di Bass poneva.

2.2.1 Posizionamento temporale della fasi di comunicazione e adozione

Guseo e Guidolin hanno poi successivamente dimostrato (2011) che è possibile dare un ordinamento alla due fasi di comunicazione e adozione. Non è infatti detto, come si è soliti subito pensare, che la fase di

comunicazione debba precedere quella di adozione. Il modello con potenziale variabile può essere riscritto nella seguente forma:

$$y(t) = KW(t; p_c, q_c, p_s, q_s) = K\sqrt{F(t; p_c, q_c)}G(t; p_s, q_s) \quad (2.10)$$

dove $y(t)$ sono sempre le vendite cumulate, $W(t; p_c, q_c, p_s, q_s)$ è una funzione di ripartizione, prodotto di due ripartizioni: $\sqrt{F(t; p_c, q_c)}$ e $G(t; p_s, q_s)$ che descrivono rispettivamente i processi di comunicazione e adozione.

Allo scopo di consentire un posizionamento temporale di $F(t)$ e $G(t)$, si definiscono due variabili casuali appartenenti al dominio T_f e T_g con funzioni di ripartizione $F(t)$ e $G(t)$. Si può osservare come l'usuale ordine stocastico tra T_f e T_g implichi anche un ordine analogo per i valori medi $E(T_f)$ e $E(T_g)$ associati a $f(t)$ e $g(t)$ rispettivamente.

Si possono usare svariati indici di posizione per le variabili casuali T_f e T_g : la moda t^+ , la mediana $t^{0.5}$, e il valore medio \bar{t} che vengono illustrati nelle seguenti formule:

$$t_F^+ = \frac{\ln(q_c/p_c)}{p_c + q_c} \quad (2.11)$$

$$t_G^+ = \frac{\ln(q_s/p_s)}{p_s + q_s} \quad (2.12)$$

$$F^{t^{0.5}} = \frac{1}{p_c + q_c} \ln\left(2 + \frac{q_c}{p_c}\right) \quad (2.13)$$

$$G^{t^{0.5}} = \frac{1}{p_s + q_s} \ln\left(2 + \frac{q_s}{p_s}\right) \quad (2.14)$$

$$\bar{t}_F = \frac{1}{q_c} \ln\left(1 + \frac{q_c}{p_c}\right) \quad (2.15)$$

$$\bar{t}_G = \frac{1}{q_s} \ln\left(1 + \frac{q_s}{p_s}\right) \quad (2.16)$$

Per $0 < p_c < q_c$ e $0 < p_s < q_s$ gli indici di posizione esposti in precedenza hanno un ordine crescente: $t^+ < t^{0.5} < \bar{t}$. Si può pensare che questo

ordinamento sia un forte sintomo dell'esistenza di un ordine anche tra i due processi di comunicazione e adozione.

Deduciamo, quindi, un possibile posizionamento delle due fasi, in particolare se: $t_F^+ < t_G^+$, $t_F^{0.5} < t_G^{0.5}$, $\bar{t}_F < \bar{t}_G$, ci troviamo nel caso più tipico nel quale la comunicazione precede l'adozione, cioè la comunicazione è l'input che permette il decollo della diffusione. Mentre se si verifica che $t_F^+ > t_G^+$, $t_F^{0.5} > t_G^{0.5}$, $\bar{t}_F > \bar{t}_G$, siamo nella situazione inversa in cui è l'adozione a causare la diffusione e la comunicazione ha il compito di aiutare a mantenere il trend nel tempo.

2.3 Aspetti di stima e identificazione statistica: minimi quadrati non lineari

Il tipico modello di regressione non lineare nei parametri (es. BM e GGM) è rappresentabile come somma di due componenti:

$$Z_t = Z(t) = f(\beta, t) + \varepsilon(t) \quad (2.17)$$

dove $Z(t)$ è la risposta del sistema dipendente dal tempo t (nel caso dei nostri modelli si tratta delle vendite cumulate), $f(\beta, t)$ è la componente deterministica, funzione reale nota che dipende dall'incognito parametro β e dal tempo t . La seconda componente $\varepsilon(t)$ è definita come un processo stocastico che rappresenta il disturbo residuale. Si richiede che gli errori $\varepsilon(t)$ siano di media nulla $M(\varepsilon(t)) = 0$. Se questa assunzione si estende comprendendo il vincolo sulla varianza omoschedastica, $Var(\varepsilon(t)) = \sigma^2$ e il vincolo di incorrelazione tra disturbi distinti, $\sigma_{\varepsilon(t), \varepsilon(t')} = 0, t \neq t'$, i residui $\varepsilon(t)$ possono essere considerati un processo *white noise*.

Ad ogni modo, la prima caratteristica degli $\varepsilon(t)$ è sufficiente per l'introduzione del criterio di stima più robusto tradizionale: il criterio dei minimi quadrati non lineari.

Si consideri il modello:

$$y_i = f(x_i; \vartheta^*) + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.18)$$

Si ipotizza $E(\varepsilon_i) = 0$, x_i vettore di $k \times 1$ variabili esplicative, y_i la risposta del sistema, ϑ^* l'incognito vero parametro ϑ . Di solito si indica con $\hat{\vartheta}$ una stima secondo i minimi quadrati dell'ignoto parametro ϑ^* ottenuta minimizzando la varianza $S(\vartheta)$:

$$S(\vartheta) = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i; \vartheta))^2 \quad (2.19)$$

Quando ogni $f(x_i; \vartheta)$ è differenziabile in ϑ , allora $\hat{\vartheta}$ soddisfa il seguente sistema di equazioni normali:

$$\frac{\partial S(\vartheta)}{\partial \vartheta_r} \Big|_{\hat{\vartheta}} = 0, \quad r = 1, 2, \dots, p \quad (2.20)$$

Si supponga per comodità di porre $f_i(\vartheta) = f(x_i; \vartheta)$ e si indichi con $f(\vartheta)$ il vettore $(f_1(\vartheta), f_2(\vartheta), \dots, f_n(\vartheta))'$. Sia:

$$F(\vartheta) = \frac{\partial f(\vartheta)}{\partial \vartheta'} = \left[\frac{\partial f_i(\vartheta)}{\partial \vartheta_r} \right], \quad i = 1, \dots, n, \quad r = 1, \dots, p \quad (2.21)$$

la matrice jacobiana $n \times p$ delle derivate parziali prime di f rispetto a ϑ' . Passando alla notazione vettoriale la devianza può essere riscritta come:

$$S(\vartheta) = [y - f(\vartheta)]'[y - f(\vartheta)] \quad (2.22)$$

Derivando la 2.22 rispetto a ϑ ed eguagliando a zero si hanno le seguenti equazioni normali:

$$-2F'(y - f(\vartheta)) = 0 \quad (2.23)$$

ovvero

$$F'(y - f(\vartheta)) = 0 \quad (2.24)$$

cui corrisponde una soluzione $\hat{\vartheta}$.

La soluzione per via analitica di queste equazioni non lineari può essere difficoltosa, per questo motivo si utilizzano procedure iterative, in cui la

sequenza viene troncata dopo un numero finito di iterazioni, N , e si accetta ϑ_N come approssimazione di ϑ . Un esempio è il metodo di *Gauss-Newton* che considera inizialmente un vettore di parametri ϑ_a , ritenuta una buona approssimazione di ϑ . Tramite lo sviluppo di Taylor troncato al primo ordine del vettore $f(\vartheta)$, in un intorno del punto ϑ_a , si giunge ad una possibile stima di ϑ :

$$f(\vartheta) \approx f(\vartheta_a) + F_{\cdot a}(\vartheta - \vartheta_a) \quad (2.25)$$

La devianza si approssima in termini lineari

$$\begin{aligned} S(\vartheta) &= [y - f(\vartheta)]'[y - f(\vartheta)] \\ &\approx [y - f(\vartheta_a) - F_{\cdot a}(\vartheta - \vartheta_a)]'[y - f(\vartheta_a) - F_{\cdot a}(\vartheta - \vartheta_a)] \\ &= [z - F_{\cdot a}\beta]'[z - F_{\cdot a}\beta] \end{aligned} \quad (2.26)$$

ove si è posto $z = y - f(\vartheta_a)$ e $\beta = (\vartheta - \vartheta_a)$.

Il minimo in $\hat{\beta}$ si consegue per $\hat{\beta} = (F_{\cdot a}'F_{\cdot a})^{-1}F_{\cdot a}'z$ e quindi:

$$\hat{\beta} = (\vartheta_b - \vartheta_a) = (F_{\cdot a}'F_{\cdot a})^{-1}F_{\cdot a}'(y - f(\vartheta_a)) = \delta_a \quad (2.27)$$

In altri termini, la seconda approssimazione è del tipo:

$$\vartheta_b = \vartheta_a + \delta_a \quad (2.28)$$

2.4 L'analisi dei residui e la statistica di Durbin-Watson

Se il modello è correttamente specificato si avrà che $E(\varepsilon(t)) = 0$, $var(\varepsilon(t)) = \sigma^2$ e che i residui sono tra loro incorrelati. Queste tre condizioni congiunte su $\varepsilon(t)$ caratterizzano il processo cosiddetto *white noise*.

L'analisi dei residui stimati permette, dunque, di verificare l'adeguatezza del modello scelto per stimare le componenti deterministiche e, quindi, di giustificare l'uso a fini previsivi.

I grafici più comunemente usati per valutare la struttura dei residui consistono in diagrammi di dispersione, che riportano i residui e_t in ordinata e in ascissa i valori stimati della variabile dipendente. Quando il modello è soddisfacente i residui appaiono nel grafico come una nuvola disordinata di punti disposta intorno alla media nulla.

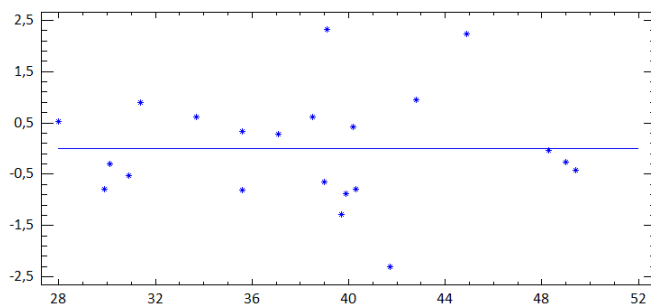


Figura 2.5: Residui incorrelati

Un altro modo per valutare i residui è osservare la loro funzione di correlazione (ACF) e la sua rappresentazione detta correlogramma. Si costruiscono degli intervalli $[-z/\sqrt{n}, z/\sqrt{n}]$ (nella figura 2.6 l'intervallo è delimitato dalle linee blu), dove z è funzione del livello di significatività prescelto, in genere si pone $z = 2$, che corrisponde all'incirca ad un livello di significatività di 0,05. Se si riscontrano delle autocorrelazioni stimate al di fuori dell'intervallo, viene respinta l'ipotesi di successione generata da un *white noise*, confermando così la presenza di autocorrelazione dei residui.

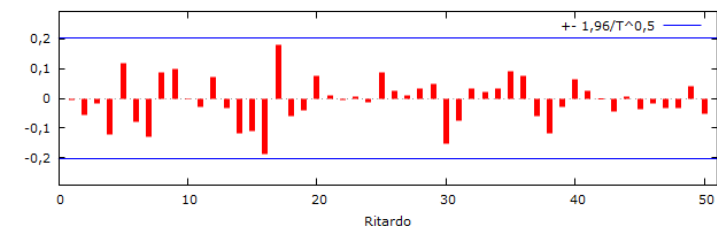


Figura 2.6: Correlogramma di residui incorrelati

Molto spesso però, con applicazione dei modelli di diffusione a casi reali, i residui non si comportano come un processo *white noise*, ovvero non rispettano l'ipotesi d'indipendenza e si presentano affetti da un problema di autocorrelazione positiva. Questo graficamente si traduce in funzioni armoniche marcate intorno alla media nulla come si vede nella figura 2.7:

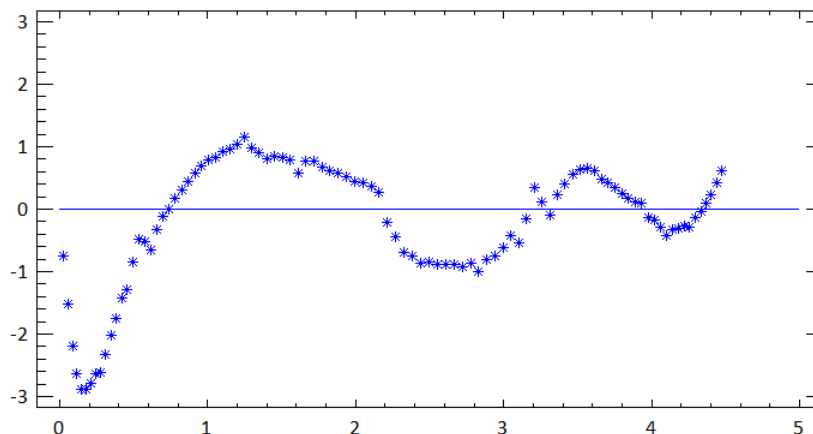


Figura 2.7: Residui autocorrelati positivamente

Un tipico esempio di autocorrelazione è l'autocorrelazione seriale di prim'ordine, definita come:

$$\varepsilon_t = \rho\varepsilon_{t-1} + \nu_t \quad (2.29)$$

dove ρ è la correlazione tra errori consecutivi e ν_t è una componente erratica di media nulla e varianza costante. Se $\rho = 0$ allora $\varepsilon_t = \nu_t$.

Il *test di Durbin-Watson* viene utilizzato per diagnosticare la presenza di questo tipo di autocorrelazione. Il sistema di ipotesi è il seguente:

$$H_0 : \rho = 0 \quad H_1 : \rho > 0 \quad (2.30)$$

L'ipotesi alternativa è $\rho > 0$, dal momento che serie storiche economiche in genere tendono ad essere caratterizzate da autocorrelazione positiva. Il test è espresso dalla seguente espressione:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (2.31)$$

I valori di DW variano tra 0 e 4 con un valore centrale di 2. Inoltre, per campioni piuttosto ampi, vale la seguente relazione:

$$DW = 2(1 - r_1(e)) \quad (2.32)$$

Dove $r_1(e)$ è l'autocorrelazione dei residui al lag 1. Dal momento che $-1 < r_1(e) < 1$, allora si ha che $0 < DW < 4$.

Come descritto dalla figura 2.8, se $DW > d_U$ allora è verificata l'ipotesi H_0 ; se $DW < d_L$ ci troviamo nel caso in cui è presente autocorrelazione positiva e si respinge H_0 in favore di H_1 , se invece $d_L < DW < d_U$ il test è inconclusivo. Per determinare d_U e d_L è necessario disporre delle apposite tavole e conoscere la dimensione del campione, il livello di significatività e il numero di variabili indipendenti. In generale un valore del test prossimo a 2 indica assenza di autocorrelazione, mentre un valore vicino a 0 individua la presenza autocorrelazione positiva tra i residui.

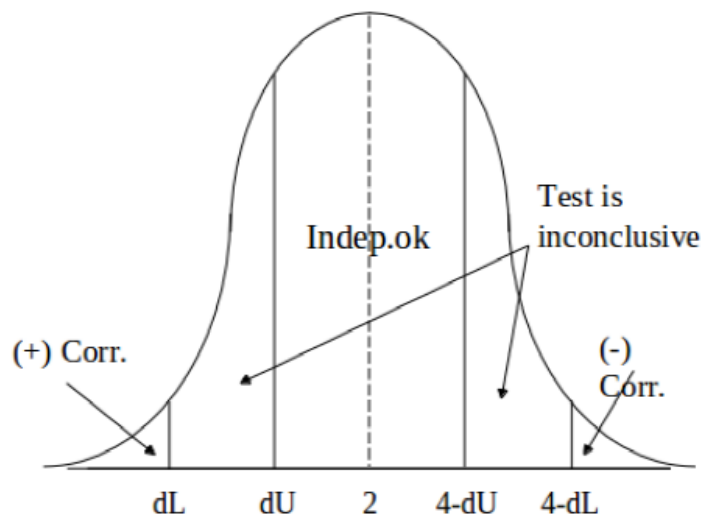


Figura 2.8: Statistica di Durbin-Watson

2.5 L'affinamento ARMAx

Una volta che l'autocorrelazione dei residui è stata diagnosticata, deve essere rimossa o modellata. Si tratta allora di articolare meglio la rappresentazione formale di $\varepsilon(t)$. Una possibilità è stata offerta da Guseo (2004) e consiste nell'utilizzo di modelli ARMAx (o SARMAx nel caso sia presente una componente stagionale nella serie).

Preliminarmente, definiamo un processo ARMA(p, q) (si veda ad esempio Di Fonzo e Lisi, 2005):

$$\phi_p(B)Y_t = \theta_q(B)a_t \quad (2.33)$$

dove a_t è un processo *white noise* e

$$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p$$

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q$$

Mentre si definisce un processo SARMA(p, q) \times (P, Q)_s come:

$$\Phi_P(B^s)Y_t = \Theta_Q(B^s)a_t \quad (2.34)$$

dove a_t è un processo *white noise* e

$$\Phi_P(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \dots - \Phi_p B^{Ps}$$

$$\Theta_Q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \dots - \Theta_Q B^{Qs}$$

I modelli ARMA (o SARMA) possono essere utilizzati solo con serie stazionarie. Per serie non stazionarie, si può ricorrere ai modelli ARIMA(p, d, q) o SARIMA(p, d, q) \times (P, D, Q)_s che prevedono delle differenziazioni. Nel nostro ambito di ciclo di vita di prodotto, le serie sono difficilmente stazionarizzabili mediante differenziazioni, perciò il trend non lineare viene modellato tramite l'applicazione dei modelli di diffusione

(come il modello di Bass e il modello GGM) e non con procedure Box-Jenkins come quelle appena descritte.

L'affinamento ARMAX per le previsioni di breve periodo viene così definito:

$$\phi(B)[w_t - c\eta(\hat{\beta}, t)] = \theta(B)a_t \quad (2.35)$$

dove $w(t)$ è la serie osservata, $\eta(\hat{\beta}, t)$ è la serie prevista secondo il modello prescelto, a_t è un processo WN, $\phi(B)$ e $\theta(B)$ sono gli usuali polinomi di ordine p e q rispettivamente. Il parametro c è detto di calibrazione e consente di verificare l'appropriatezza del modello globale $\eta(\hat{\beta}, t)$ basata su una soluzione dei minimi quadrati $\hat{\beta}$. In particolare, se $c = 1$ allora il modello diventa:

$$\phi(B)\varepsilon(t) = \theta(B)a_t \quad (2.36)$$

Tale approccio può essere esteso includendo una componente stagionale. In questo caso si parla di affinamento SARMAX definito come:

$$\Phi(B^s)\phi(B)[w_t - c\eta(\hat{\beta}, t)] = \Theta(B^s)\theta(B)a_t \quad (2.37)$$

Questa tecnica, che consiste nell'applicare, in prima istanza, un modello di diffusione e poi un affinamento ARMAX (o SARMAX) per correggere i residui, fa in modo che la variabilità intorno al modello stimato venga opportunamente descritta e quindi si rivela un approccio parsimonioso e generalmente molto efficace.

Capitolo 3

Analisi statistica di dati di vendita: le auto elettriche Fluence Z.E., Kangoo Z.E., Zoe

3.1 Analisi dei dati di vendita: Fluence Z.E.

Disponiamo della serie mensile delle vendite in Europa dell'auto Fluence Z.E. da gennaio 2011, data che corrisponde all'entrata nel mercato del prodotto, a marzo 2017.

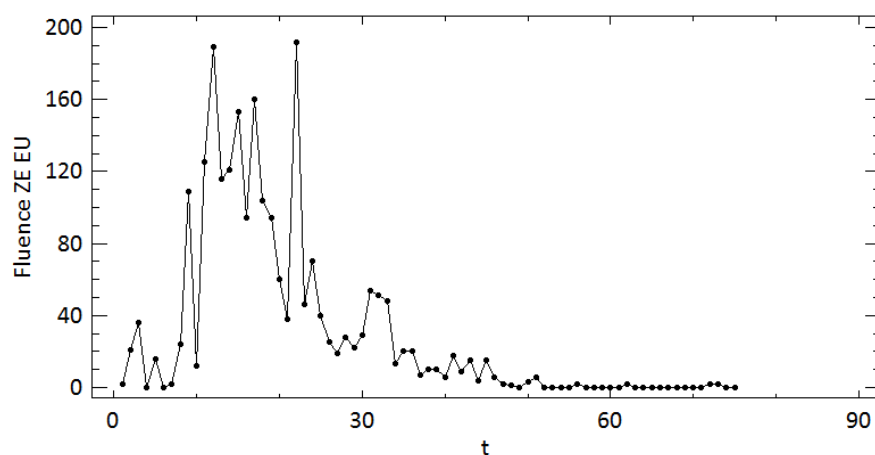


Figura 3.1: Serie mensile delle vendite europee di Fluence Z.E.

Come si vede dal grafico 3.1, le vendite della Fluence Z.E. in Europa iniziano cautamente nei primi mesi del 2011, ma aumentano considerevolmente già nel settembre dello stesso anno. La serie continua mediamente a crescere fino a circa ottobre 2012, da quel momento in poi l'andamento si assesta su valori via via decrescenti. La Renault ha provveduto all'arresto della produzione di Fluence Z.E. nel 2014, questo giustifica l'azzeramento delle vendite per circa tutto il 2015 e 2016. La serie si presenta quindi con un andamento pressochè campanulare, tipico di prodotti dotati di un ciclo di vita limitato. Visto l'andamento, i modelli di diffusione sembrano i più indicati, procediamo quindi con l'applicazione alla serie delle vendite del modello di Bass. Partendo dai seguenti valori iniziali:

Stime iniziali	
m	2300,0
p	0,001
q	0,1

Tabella 3.1: Stime iniziali del modello di Bass

si ottengono i risultati riportati nella tabella 3.2:

Parametro	Stima	Errore Standard	ic inferiore	ic superiore
m	2245,64	9,38699	2226,93	2264,35
p	0,00668275	0,0005899	0,0055068	0,00785869
q	0,187833	0,00703246	0,173814	0,201852

Tabella 3.2: Risultati del modello di Bass con intervallo di confidenza al 95%

Sorgente	Somma dei quadrati	G.l.	Media dei quadrati
<i>Modello</i>	$2,66603e^8$	3	$8,88675e^7$
<i>Residuo</i>	243058	72	3375,8
<i>Totale</i>	$2,66846e^8$	75	
<i>Totale(corr.)</i>	$4,58625e^7$	74	

Tabella 3.3: Analisi della varianza del modello di Bass

R^2	99,47%
<i>Statistica di Durbin-Watson</i>	0,225323

Guardando la tabella 3.2 si nota che il valore del mercato potenziale m (2245,64) è minore del valore di partenza (ottenuto aumentando leggermente l'ultimo cumulo) questo perchè ci troviamo di fronte a un prodotto che ha completato il proprio ciclo di vita. Il parametro p ha un valore basso anche se maggiore di quello di partenza, ciò sta ad indicare un contributo degli innovatori limitato ma comunque attivo, probabilmente perchè, trattandosi di un'auto ad emissioni zero, il gruppo di appassionati e informati sulla novità automobilistiche può essere stato allargato da ecologisti o persone aventi a cuore la causa ambientale che erano in attesa dell'uscita sul mercato di un prodotto di questo tipo. Invece il valore di q denota una maggior importanza nel processo di diffusione della componente imitativa, testimoniando così una diffusione caratterizzata per lo più da passaparola.

Il coefficiente di determinazione R^2 , che misura la bontà di adattamento del modello, risulta essere elevato e questo potrebbe indurci a credere che il modello sia soddisfacente, ciò è sottolineato anche della stabilità delle stime, i cui intervalli di confidenza non contengono lo zero, ma la figura 3.2 mostra che l'adattamento potrebbe essere migliorato. Si nota infatti come il modello di Bass sovrastimi la parte iniziale, posticipi il picco e non riesca a coglierlo nella sua interezza.

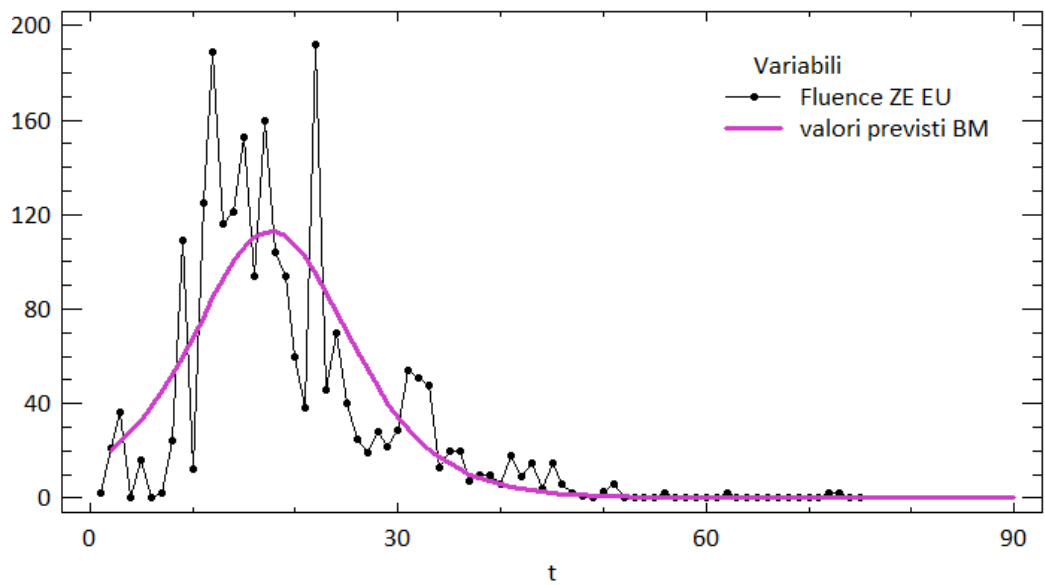


Figura 3.2: La serie mensile di Fluence Z.E. con la previsione del modello di Bass

La *statistica di Durbin-watson* (0,22), che verifica la presenza di autocorrelazione nei residui, confrontata con i suo quantili ($d_L=1,543$, $d_U=1,709$), evidenzia la presenza di questa problematica, come si evince anche dal grafico dei residui (figura 3.3) a causa dell'andamento armonico.

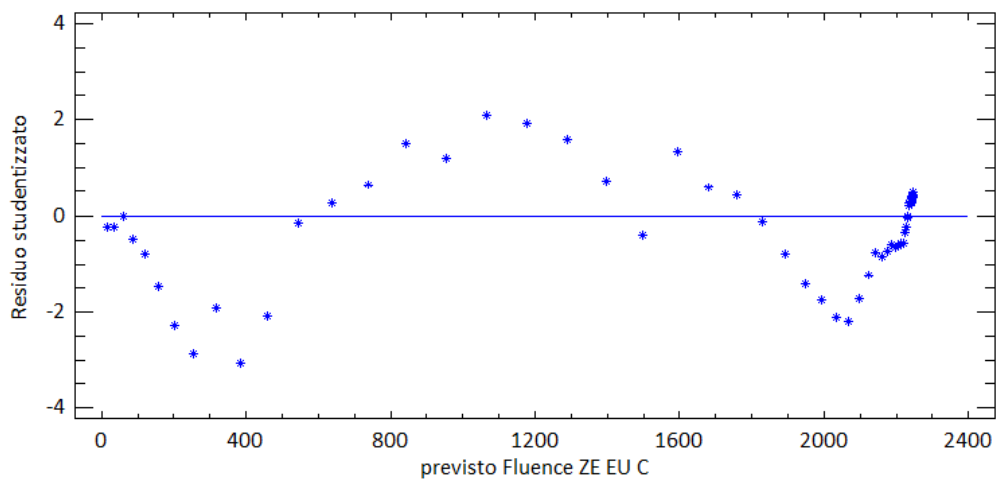


Figura 3.3: Grafico dei residui studentizzati del modello di Bass

Viste le problematiche riscontrate con l'applicazione del modello di Bass proviamo ad utilizzare il modello GGM.

Per i valori iniziali di p_s e q_s ci avvaliamo delle stime di p e q forniteci dal modello di Bass.

Stime iniziali	
k	2300,0
p_c	0,001
q_c	0,1
p_s	0,0067
q_s	0,19

Tabella 3.4: Stime iniziali del modello GGM

Parametro	Stima	Errore Standard	ic inferiore	ic superiore
k	2276,73	4,88273	2266,99	2286,47
p_c	0,00838422	0,00108711	0,00621604	0,0105524
q_c	0,124742	0,00751002	0,109764	0,13972
p_s	0,00394504	0,000639556	0,00266948	0,00522059
q_s	0,374053	0,0210914	0,331988	0,416119

Tabella 3.5: Risultati del modello GGM con intervallo di confidenza al 95%

Sorgente	Somma dei quadrati	G.l.	Media dei quadrati
<i>Modello</i>	$2,6681e^8$	5	$5,3362e^7$
<i>Residuo</i>	35526,3	70	507,518
<i>Totale</i>	$2,66846e^8$	75	
<i>Totale(corr.)</i>	$4,58625e^7$	74	

Tabella 3.6: Analisi della varianza del modello GGM

R^2	99,9225 %
<i>Statistica di Durbin-Watson</i>	1,14185

Il valore di k è di poco inferiore a quello iniziale perchè, come detto prima, ci troviamo di fronte ad una serie che ha praticamente terminato il suo ciclo di vita. La componente innovativa nella fase di comunicazione ha un valore

notevole che si avvicina allo 0,01, ad indicare che il gruppo degli innovatori ha svolto un'azione vivace nel processo che ha portato alla conoscenza del prodotto. Invece nella fase di adozione il parametro non è così significativo. L'imitazione ha un valore elevato nella fase di comunicazione, ma ancor di più nella fase di adozione, dove q_s ha un valore maggiore anche del q del modello di Bass, questo dimostra quanto il passaparola sia stato importante nel processo di diffusione del prodotto.

Il coefficiente di determinazione R^2 ha un valore maggiore rispetto all' R^2 trovato con il modello di Bass, questo non indica per forza che il modello con potenziale variabile è migliore del modello di Bass, perchè un maggior numero di parametri implica un valore di R^2 più grande. Per capire se il modello GGM apporta un miglioramento significativo al modello di Bass si può utilizzare l'indice \tilde{R}^2 per modelli nidificati:

$$\tilde{R}^2 = \frac{R_{GGM}^2 - R_{BM}^2}{1 - R_{BM}^2} \quad (3.1)$$

Tale indicatore segnala il livello di miglioramento passando da un modello ridotto a uno esteso, in termini di riduzione della devianza residua. Nel nostro caso esso assume il seguente valore:

$$\tilde{R}^2 = \frac{0,999225 - 0,9947}{1 - 0,9947} = 0,854 \quad (3.2)$$

Un valore così elevato indica che il modello GGM ha attuato un miglioramento significativo nei confronti del modello di Bass. Un miglior adattamento si nota anche nelle figure 3.4 e 3.5.

Il modello coglie infatti sin da subito l'andamento medio della serie: non sovrastima la parte iniziale, riesce ad individuare abbastanza bene il picco e nella parte finale continua la buona performance.

Inoltre anche la stabilità delle stime, i cui intervalli di confidenza non contengono lo zero, contribuisce a far ritenere il modello un candidato soddisfacente.

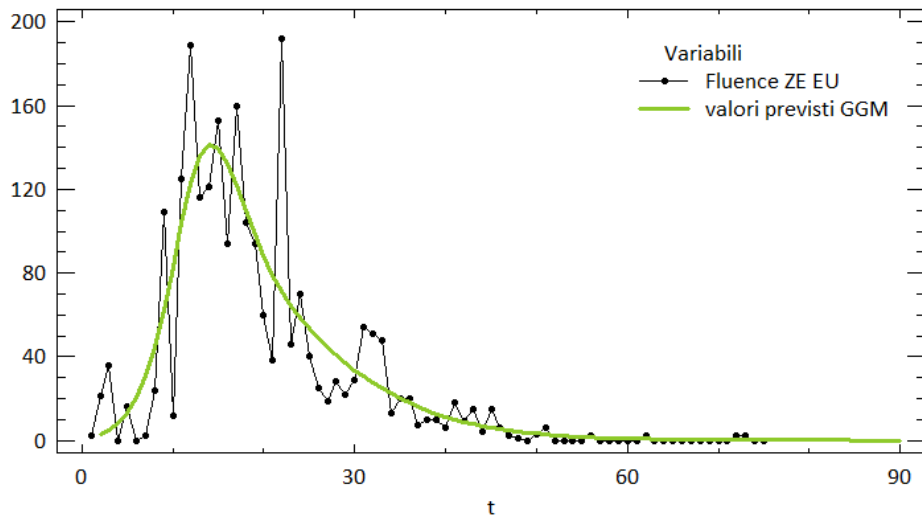


Figura 3.4: La serie mensile di Fluence Z.E. con la previsione del modello GGM

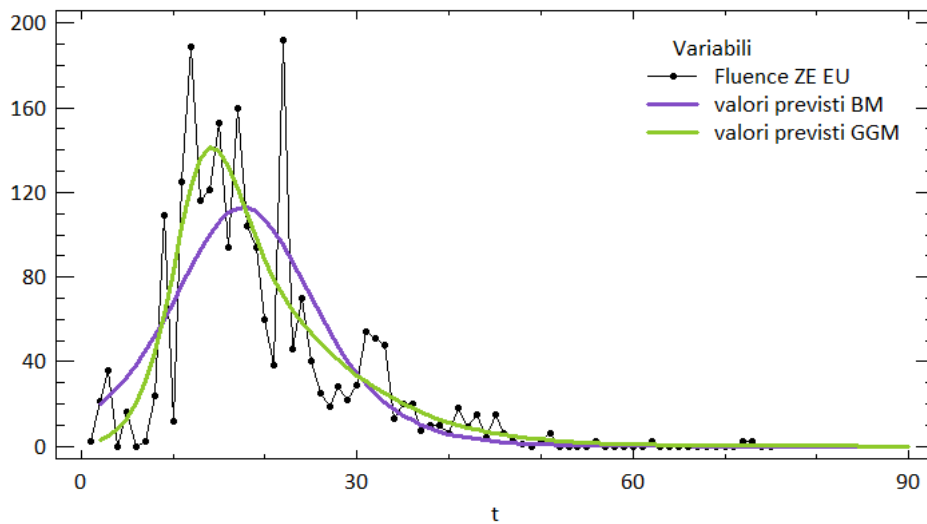


Figura 3.5: I due modelli messi a confronto sulla serie mensile di Fluence Z.E.

La *statistica di Durbin-Watson* (1,142) confrontata con i suoi quantili ($d_L = 1,486$, $d_U = 1,770$) individua la presenza di una correlazione positiva nei residui, come si riscontra anche dalla figura 3.6.

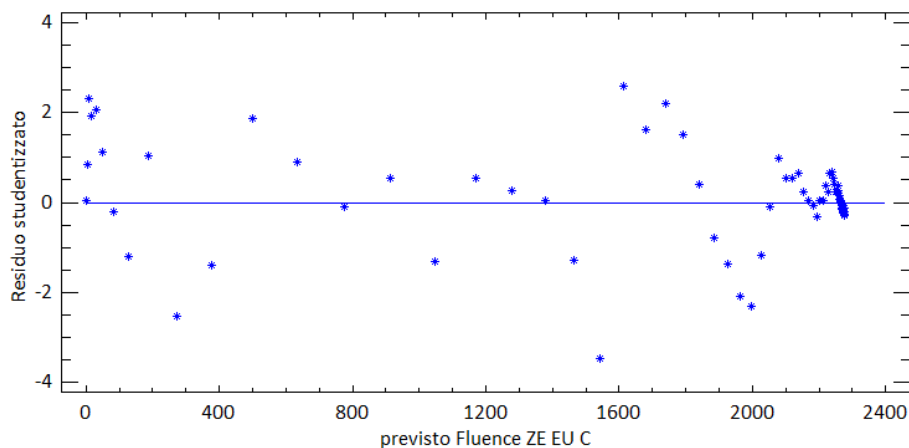


Figura 3.6: I residui studentizzati del modello GGM

Nel modello GGM è, poi, interessante vedere come si collocano temporalmente la fase di comunicazione e adozione. Procediamo perciò con il calcolo di alcuni indicatori di posizione, descritti nel capitolo precedente. I risultati vengono riassunti nella seguente tabella:

Comunicazione	Adozione
$t_F^+ = 20,281$	$t_G^+ = 12,042$
$F^{t_{0.5}} = 21,228$	$G^{t_{0.5}} = 12,097$
$\bar{t}_F = 22,165$	$\bar{t}_G = 12,197$

Tabella 3.7: Indicatori di posizione delle fasi del GGM

Si nota che i valori corrispondenti alla fase di adozione sono inferiori rispetto a quelli della comunicazione: questo risultato indica che ci troviamo nella situazione più insolita in cui l'adozione precede la comunicazione. Un ordinamento di questo tipo delle due fasi comporta che nel mercato ci sia già una conoscenza del prodotto e un numero consistente di adottanti disponibile ad acquistare il nuovo prodotto, rendendo non necessaria la comunicazione prima del debutto dell'innovazione. Questo può essere motivato dal fatto che la sperimentazione sui motori elettrici era presente da molto tempo, quindi c'era già un gruppo di potenziali adottanti informati sulla materia. Inoltre la Fluence Z.E. è uno dei primi esemplari di auto con motore elettrico caratterizzato da certa autonomia e in grado di

percorrere tragitti relativamente lunghi, perciò prima che uscisse nel mercato c'era già chi spinto o dalla curiosità o da motivazioni ecologiste o da altri motivi, pronto ad acquistare Fluence Z.E..

3.1.1 Affinamento ARMA_x (o SARMA_x)

Tra i due modelli applicati precedentemente, quello che offre un risultato più soddisfacente è sicuramente il modello GGM, proviamo, quindi, a migliorarlo ulteriormente applicando un affinamento ARMA_x (o SARMA_x), cercando così di risolvere la problematica dei residui autocorrelati positivamente.

Il miglior modello è un SARIMA (2, 0, 2)_x(2, 0, 2)₁₂ con costante, con le previsioni ottenute utilizzando il modello GGM come regressore esterno. Si riportano in seguito i risultati ottenuti:

Parametro	Stima	Errore Standard	t	P-value
AR(1)	1,61968	0,0297288	54,4813	0,000000
AR(2)	-0,963403	0,0307183	-31,3625	0,000000
MA(1)	1,29938	0,106827	12,1634	0,000000
MA(2)	-0,635881	0,109203	-5,82263	0,000000
SAR(1)	0,0135148	0,148905	0,0907611	0,927962
SAR(2)	0,839387	0,110918	7,56762	0,000000
SMA(1)	0,534546	0,175781	3,04097	0,003398
SMA(2)	0,584333	0,156737	3,7281	0,000407
GGM	0,996577	0,00227633	437,799	0,000000
Media	7,19558	4,54146	1,58442	0,117952
Costante	0,363834			

Tabella 3.8: Stime del modello SARMA_x(2, 0, 2)_x(2, 0, 2)₁₂

La stima del parametro c , associata alle previsioni del modello GGM, ricorrendo ad un'approssimazione risulta unitario (0,996577), indicando un ottimo adattamento medio del modello non lineare scelto per spiegare il trend della serie. L'affinamento SARMA_x coglie le oscillazioni casuali che il modello GGM non era riuscito a comprendere e risolve l'autocorrelazione positiva dei residui. Infatti nel correlogramma globale mostrato in figura

3.7, tutte le autocorrelazioni tranne l'ultima sono all'interno delle bande di confidenza.

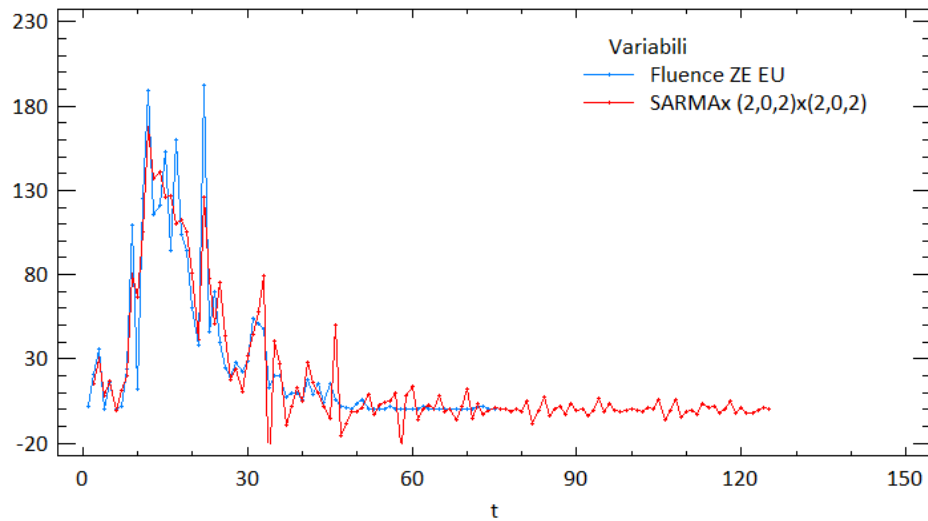


Figura 3.7: La serie mensile delle vendite di Fluence Z.E. con l'affinamento SARMAX $(2, 0, 2) \times (2, 0, 2)_{12}$

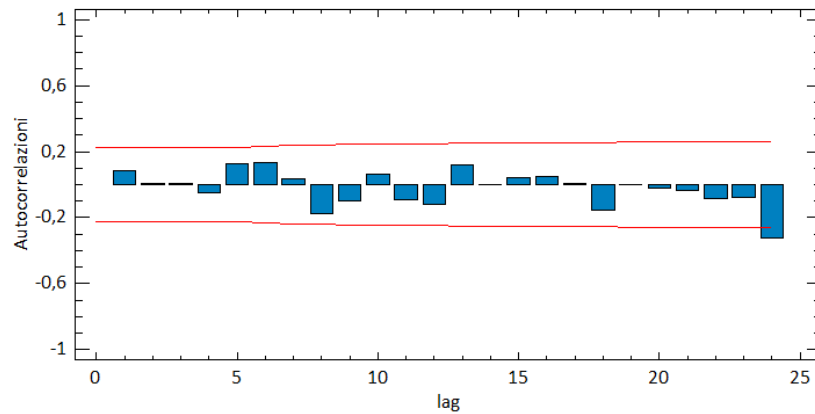


Figura 3.8: Correlogramma dei residui del SARMAX $(2, 0, 2) \times (2, 0, 2)_{12}$

3.2 Analisi dei dati di vendita: Kangoo Z.E.

Prendiamo ora in considerazione la serie mensile delle vendite in Europa di Kangoo Z.E., dal debutto nel mercato del prodotto nel febbraio 2011, fino a

marzo 2017.

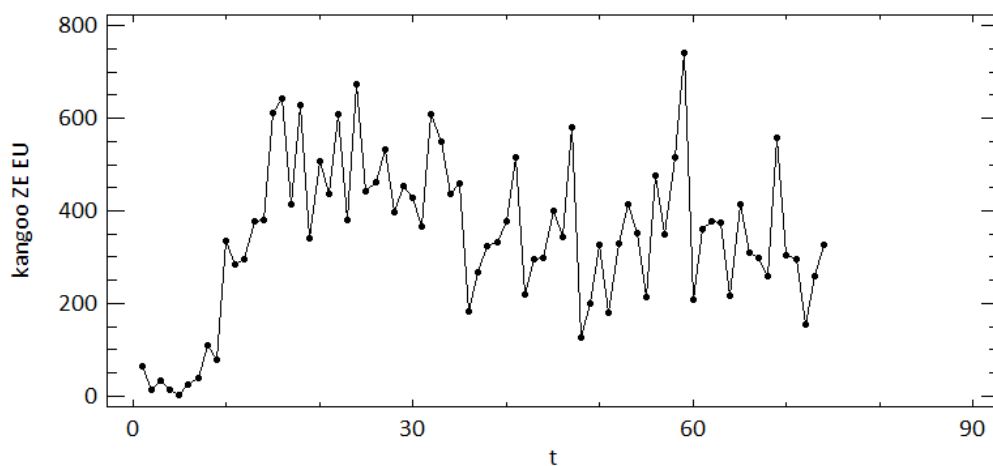


Figura 3.9: Le serie mensile delle vendite in Europa di Kangoo Z.E.

Come si può vedere nella figura 3.9, dopo una fase di avvio, le vendite di Kangoo Z.E. iniziano a crescere da ottobre 2011, terminata la fase di crescita si assestano in una condizione di stazionarietà fino a gennaio 2014 quando subiscono un certo calo, ma si riprendono quasi immediatamente per ritornare nuovamente stazionarie.

In questo caso non ci troviamo di fronte ad un ciclo di vita finito, Kangoo Z.E. è ancora in commercio in Europa, ma possiamo ugualmente provare ad applicare i modelli per ciclo di vita per vedere come prevedono l'andamento futuro e come interpretano i dati di cui disponiamo in termini di componente imitativa e innovativa.

Iniziamo applicando il modello di Bass:

Stime iniziali	
m	26000,0
p	0,001
q	0,1

Tabella 3.9: Stime iniziali del modello di Bass

Parametro	Stima	Errore Standard	ic inferiore	ic superiore
m	28694,4	966,923	26766,4	30622,3
p	0,0063052	0,000304597	0,00569785	0,00691255
q	0,0478322	0,00395695	0,0399423	0,0557222

Tabella 3.10: Risultati del modello di Bass con intervallo di confidenza al 95%

Sorgente	Somma dei quadrati	G.l.	Media dei quadrati
<i>Modello</i>	$1,61866e^{10}$	3	$5,39553e^9$
<i>Residuo</i>	$3,85079e^7$	71	542365
<i>Totale</i>	$1,62251e^{10}$	74	
<i>Totale(corr.)</i>	$4,96388e^9$	73	

Tabella 3.11: Analisi della varianza del modello di Bass

R^2	99,92242 %
<i>Statistica di Durbin-Watson</i>	0,0443117

Il valore della stima del mercato potenziale m aumenta di poco il valore iniziale, questo perchè come si può vedere dalla figura 3.10, il modello stima che il picco è già avvenuto e che il ciclo di vita sta terminando.

Il parametro p è più alto del valore standard (0,001), da ciò si deduce che gli innovatori hanno offerto un contributo vivace al processo di diffusione, mentre q non ha un valore così elevato.

Il coefficiente di determinazione R^2 indica una buona percentuale di adattamento che potrebbe far ritenere ottimo il modello, ma guardando la figura 3.10 si vede come l'adattamento non sia del tutto buono. Il modello infatti sovrastima e non riesce a cogliere bene la parte iniziale, stima il picco in momento in cui la serie ha un calo e prevede che la serie stia terminando, cosa non molto realistica.

La *statistica di Durbin Watson* (0,044) ($d_L = 1,543$, $d_U = 1,709$) assieme al grafico dei residui (figura 3.11) individua la presenza di residui correlati positivamente.

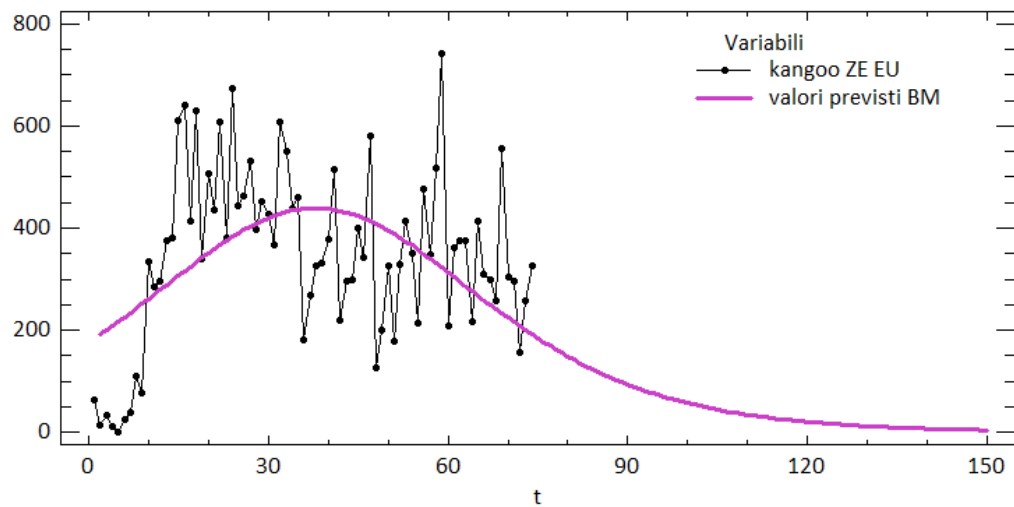


Figura 3.10: La serie mensile di Kangoo Z.E. con la previsione del modello di Bass

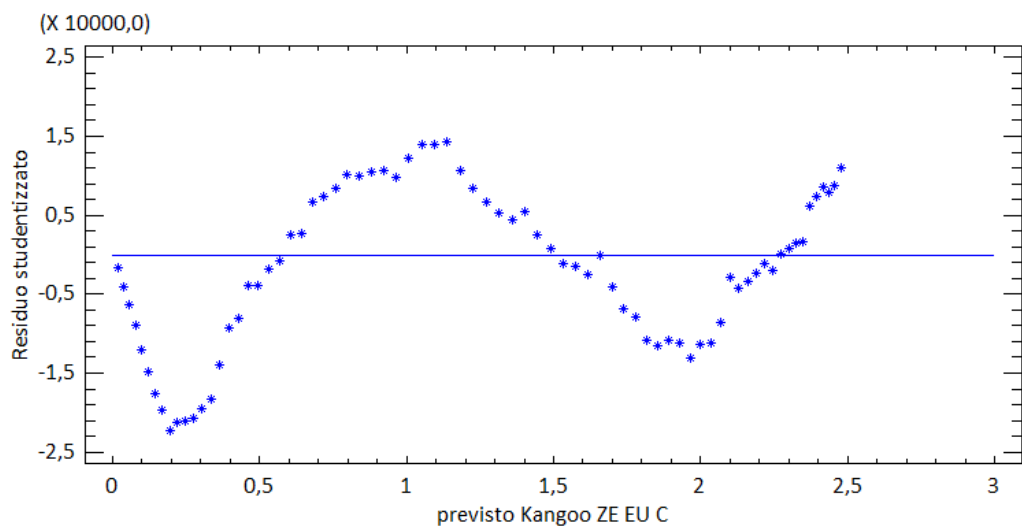


Figura 3.11: Grafico dei residui studentizzati del modello di Bass

Visti i risultati non soddisfacenti ottenuti dall'applicazione del modello di Bass, procediamo con l'applicazione del modello GGM, utilizzando come valori di partenza di k , p_s e q_s le stime rispettivamente di m , p e q ricavate con il modello di Bass.

Stime iniziali	
K	28694,4
p_c	0,001
q_c	0,1
p_s	0,0063
q_s	0,0478

Tabella 3.12: Stime iniziali del modello GGM

Parametro	Stima	Errore Standard	ic inferiore	ic superiore
k	39230,7	2346,02	34550,5	43910,9
p_c	0,00134113	0,0000951285	0,00115136	0,0015309
q_c	0,0424418	0,00240368	0,0376466	0,047237
p_s	0,00647932	0,000659593	0,00516346	0,00779517
q_s	0,196206	0,00933305	0,177587	0,214825

Tabella 3.13: Risultati del modello GGM con intervallo di confidenza al 95%

Sorgente	Somma dei quadrati	G.l.	Media dei quadrati
<i>Modello</i>	$1,62231e^{10}$	5	$3,24461e^9$
<i>Residuo</i>	$2,04142e^6$	69	29585,8
<i>Totale</i>	$1,62251e^{10}$	75	
<i>Totale(corr.)</i>	$4,96388e^9$	74	

Tabella 3.14: Analisi della varianza del modello GGM

R^2	99,9589 %
<i>Statistica di Durbin-Watson</i>	0,466063

Il parametro k ha un valore maggiore rispetto a quello iniziale, questo perchè il modello nonostante abbia stimato che il picco è già avvenuto e preveda una fine del ciclo questa non è così vicina, quindi Kangoo Z.E. rimarrà nel mercato ancora per un po' secondo il modello GGM. Il parametro della componente innovativa è basso nella fase di comunicazione, mentre in quella di adozione è più elevato. Il parametro q_c , che caratterizza gli imitatori nella fase di comunicazione, non ha un valore molto elevato, ciò potrebbe essere motivato dal fatto che non si tratta di un'auto utilitaria ma di un mini furgone utilizzato da chi deve trasportare merci e quindi da un pubblico ristretto, per cui il passaparola nella fase di comunicazione può

essere stato difficoltoso. Questo problema invece non si ripresenta nella fase di adozione che è caratterizzata da un valore di q_s maggiore rispetto a q_c e rispetto anche al q del modello di Bass, individuando così un contributo degli imitatori predominante nella diffusione del prodotto.

L' R^2 e la stabilità delle stime evidenziano come l'utilizzo del modello GGM in questa serie sia una soluzione soddisfacente. Ciò è confermato dalla figura 3.12, che mostra come il modello si adatti mediamente bene alla serie: riesce a cogliere ottimamente la parte iniziale e continua su questo raggio, per il futuro prevede un declino e la fine del ciclo ma una vita più ampia rispetto a quella prevista dal modello di Bass.

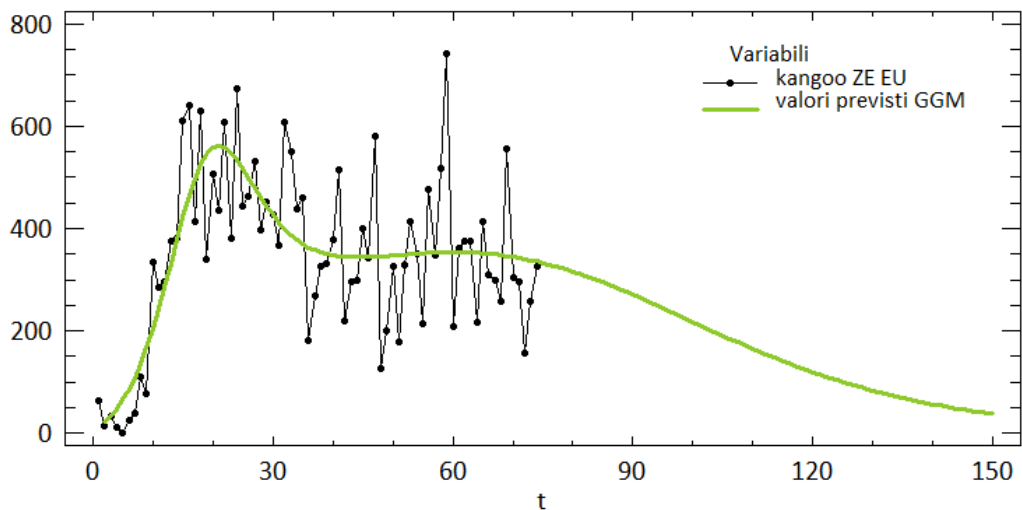


Figura 3.12: La serie mensile di Kangoo ZE con la previsione del modello GGM

Rispetto al modello di Bass il miglioramento è evidente guardando la figura 3.13, ed è sottolineato anche dal valore di \tilde{R}^2 :

$$\tilde{R}^2 = \frac{0,999589 - 0,992242}{1 - 0,992242} = 0,969 \quad (3.3)$$

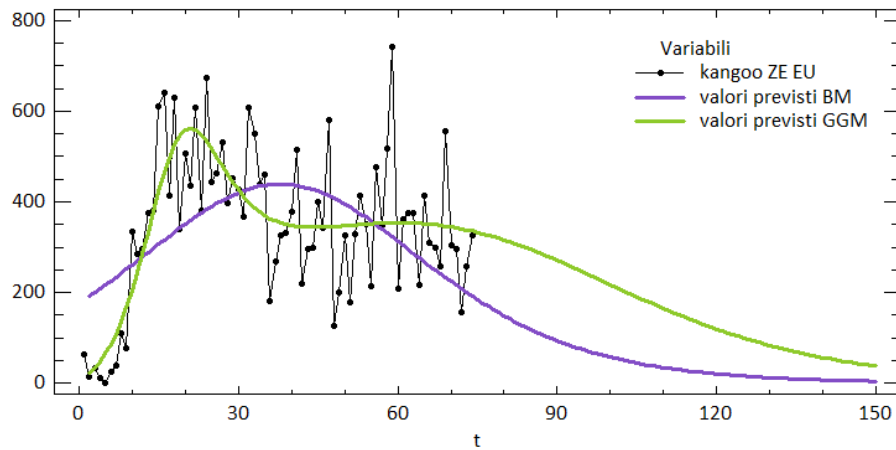


Figura 3.13: I due modelli messi a confronto sulla serie mensile di Kangoo Z.E.

La *statistica di Durbin-Watson* (0,466), confrontata con i suoi quantili ($d_L = 1,486$, $d_U = 1,770$), e il grafico dei residui studentizzati (3.14) mostrano che i residui hanno una correlazione positiva che può essere risolta tramite un affinamento ARMAx o SARMAx.

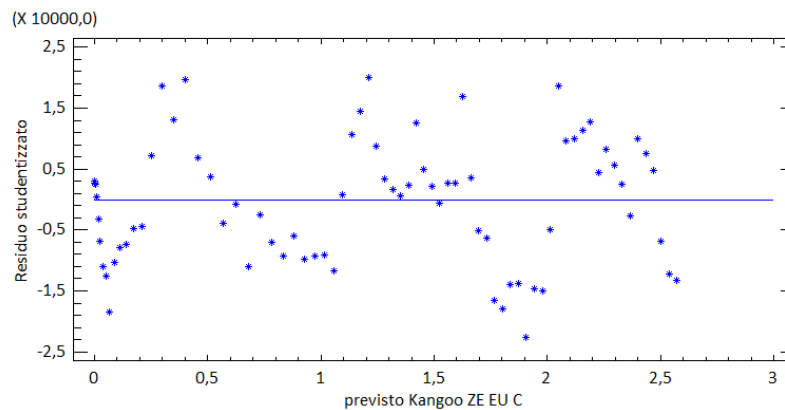


Figura 3.14: I residui studentizzati del modello GGM

Calcoliamo ora gli indici di posizione delle fasi di comunicazione e adozione per vedere quale delle due è avvenuta prima. I risultati sono riassunti nella seguente tabella:

Comunicazione	Adozione
$t_F^+ = 78,902$	$t_G^+ = 16,827$
$F^{t_{0.5}} = 80,302$	$G^{t_{0.5}} = 17,142$
$\bar{t}_F = 82,128$	$\bar{t}_G = 17,548$

Tabella 3.15: Indicatori di posizione delle fasi del GGM

Anche per Kangoo Z.E. come per Fluence Z.E., la fase di adozione precede quella di comunicazione, dunque era già presente nel mercato una certa curiosità verso questa innovazione e un gruppo di potenziali adottanti informati e pronti ad acquistare il prodotto; la comunicazione ha avuto, quindi, un ruolo secondario, fatto coerente con i valori bassi di p_c e q_c . Il ripetersi di questo fenomeno in Fluence Z.E. e in Kangoo Z.E., può essere motivato dal fatto che la sensibilità verso l'emissione zero e, perciò verso macchine non alimentate da combustibili fossili, era stata stimolata già in precedenza con l'avvento nei primi anni 2000 delle auto ibride, quando sicuramente erano stati attuati sforzi che portassero alla conoscenza di nuovi tipi di motori automobilistici. Il mercato in cui nascono Fluence Z.E. e Kangoo Z.E. sembra, dunque, pronto e disponibile a investire su auto ancora più ecologiche come quelle in questione.

A tutto questo c'è da aggiungere che, come detto in precedenza per il caso Fluence Z.E., gli studi per la creazione di auto totalmente elettriche erano in atto da alcuni anni, nel 2008 la Renault aveva, infatti, varato l'idea del progetto Z.E., zero emission. Quindi quando nel 2011 debuttano prima Fluence Z.E. e pochi mesi dopo Kangoo Z.E., si era creato probabilmente un certo clima di attesa per le loro performance e il pubblico aspettava solo di testarle, di conseguenza la fase di comunicazione si è rivelata più utile dopo l'entrata nel mercato dei due prodotti, per stimolare le vendite anche sulla base dell'esperienza diretta del prodotto.

3.2.1 Affinamento ARMA_x (o SARMA_x)

Tramite le analisi esposte in precedenza possiamo concludere che tra i due modelli applicati alla serie di Kangoo Z.E. il migliore è il modello GGM, con lo scopo di perfezionarlo ulteriormente, applichiamo un affinamento ARMA_x (o SARMA_x). Il risultato più soddisfacente si ottiene da un ARIMA (1, 0, 0) che ha come regressore le previsioni ottenute con il modello GGM. Si riportano in seguito i risultati ottenuti:

Parametro	Stima	Errore Standard	t	P-value
AR(1)	0,773672	0,0764571	10,119	0,000000
GGM	0,99902	0,00364523	274,062	0,000000

Tabella 3.16: Stime del modello ARMA_x(1, 0, 0)

Il valore del parametro c è prossimo all'unità (0,9902), a conferma di una buona centratura del modello medio.

L'affinamento, nonostante l'utilizzo parsimonioso di un solo parametro, porta ad un ottimo adattamento anche se leggermente traslato a destra e corregge l'autocorrelazione positiva dei residui. Dal correlogramma in figura 3.16, si nota appunto che tutte l'autocorrelazioni sono all'interno delle bande di confidenza e quindi non significative.

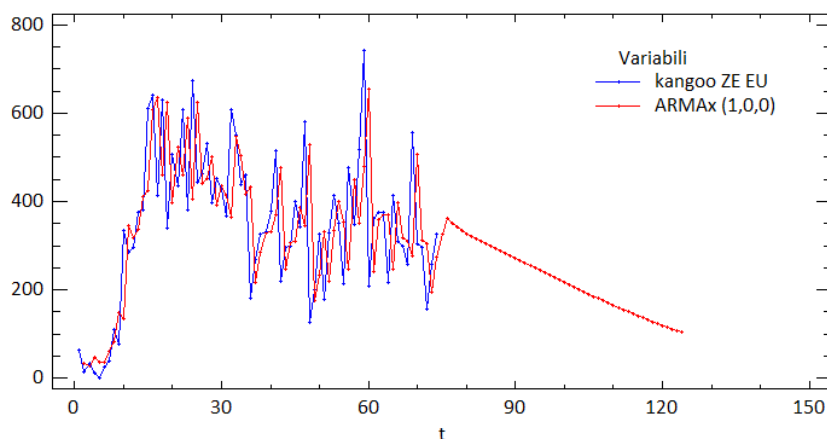


Figura 3.15: La serie mensile delle vendite di Kangoo Z.E. con l'affinamento ARMA_x(1, 0, 0)

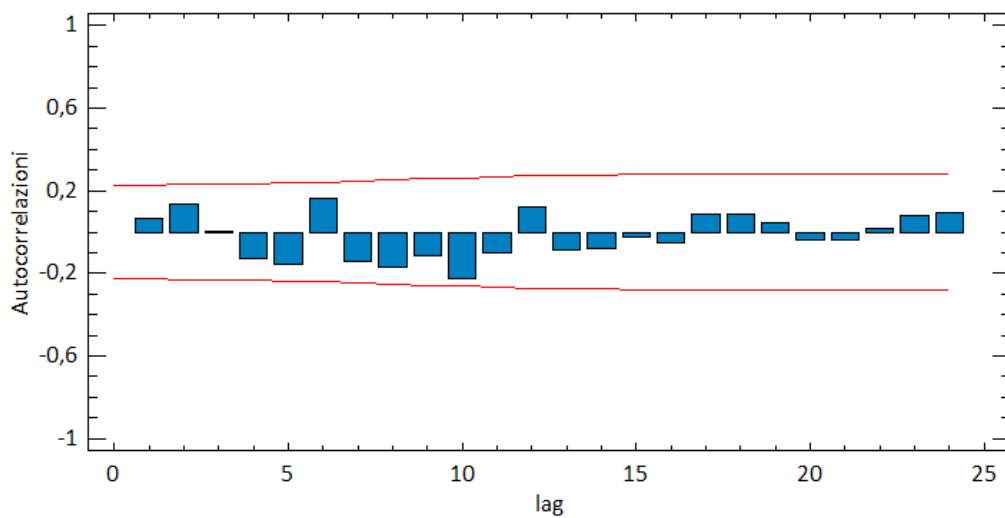


Figura 3.16: Correlogramma del ARMAx(1, 0, 0)

3.3 Analisi dei dati di vendita: Zoe

Per finire analizziamo la serie mensile delle vendite in Europa di Zoe, dal debutto nel mercato nel maggio 2012 fino a marzo 2017.

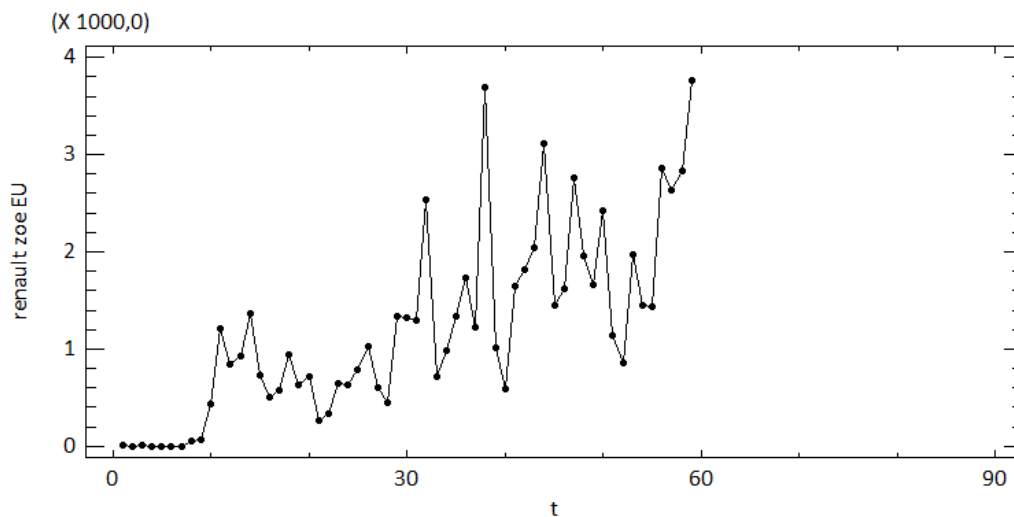


Figura 3.17: Serie mensile delle vendite europee di Zoe

Come si può vedere dal grafico 3.17, nei primi tempi le vendite sono scarse

ma si verifica, poi, un picco importante a febbraio 2013 e nuovamente a giugno 2013, dopo di che la serie continua a muoversi con un trend mediamente crescente. A differenza di Fluence Z.E., che è in uscita dal mercato, e di Kangoo Z.E. che è in una situazione di stazionarietà, Zoe è ancora in netta crescita, non si tratta, quindi, di prodotto il cui ciclo di vita si è concluso o sta terminando. In ogni caso l'applicazione dei modelli di diffusione può servire ad analizzare il processo di adozione ancora in corso e inoltre, tenendo conto dell'andamento delle altre due serie, si può provare ad ipotizzare come le vendite di Zoe si comporteranno in futuro. Iniziamo applicando il modello di Bass:

Stime iniziali	
m	80000,0
p	0,001
q	0,1

Tabella 3.17: Stime iniziali del modello di Bass

Parametro	Stima	Errore Standard	ic inferiore	ic superiore
m	103875	4692,0	94476,0	113274,
p	0,00172628	0,0000549003	0,0016163	0,00183626
q	0,0735354	0,00269473	0,0681372	0,0789336

Tabella 3.18: Risultati del modello di Bass con intervallo di confidenza al 95%

Sorgente	Somma dei quadrati	G.l.	Media dei quadrati
<i>Modello</i>	$5,98462e^{10}$	3	$1,99487e^{10}$
<i>Residuo</i>	$5,78369e^7$	56	$1,0328e^6$
<i>Totale</i>	$5,99041e^{10}$	59	
<i>Totale(corr.)</i>	$2,68154e^{10}$	58	

Tabella 3.19: Analisi della varianza del modello di Bass

R^2	99,7843 %
<i>Statistica di Durbin-Watson</i>	0,409509

Il valore di m è di poco più grande di quello iniziale, il modello infatti stima che il picco è già avvenuto e che il ciclo è nella fase di declino. Il parametro d'innovazione ha un valore di poco superiore a quello standard (0,001), il contributo innovativo è, dunque, nella norma. Il parametro che contraddistingue la componente imitativa non è così elevato, ciò sta ad indicare che nel processo di adozione del prodotto il passaparola non ha avuto un ruolo determinante.

Anche se R^2 è alto (99,7843%) l'adattamento non è molto buono: sovrastima la parte iniziale, poi calcola il picco in un momento in cui le vendite sono lievemente calate e soprattutto, non molto realisticamente, prevede che il prodotto si avvii a concludere il proprio ciclo di vita.

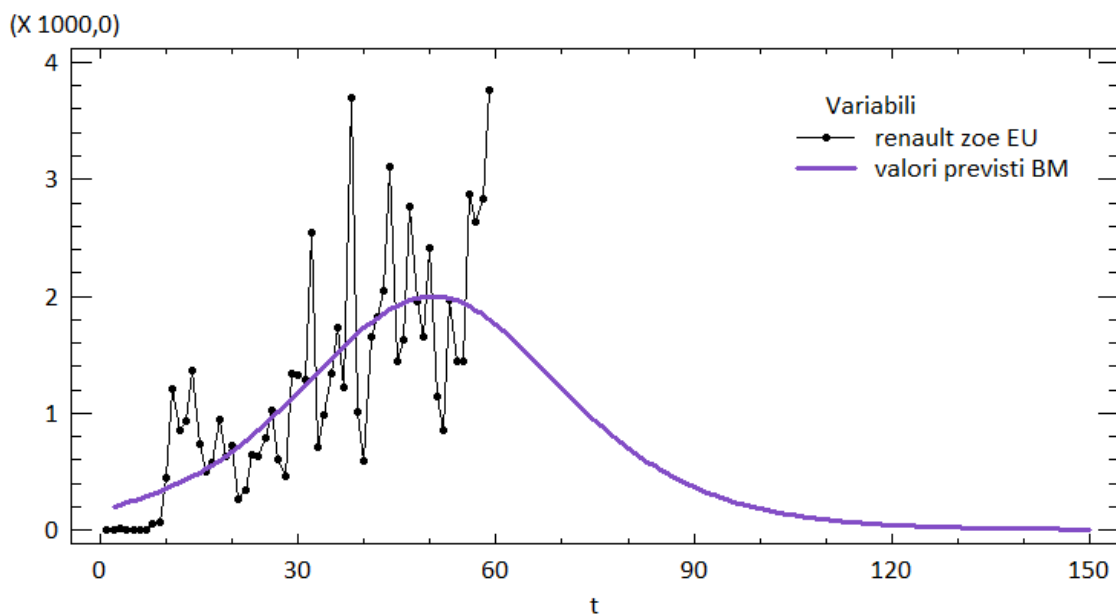


Figura 3.18: La serie mensile di Zoe con la previsione del modello di Bass

La *statistica di Durbin-Watson* (0,409) confrontata con i suoi quantili ($d_L = 1,480, d_U = 1,689$) evidenzia che i residui presentano un problema di autocorrelazione positiva, ciò è confermato anche dal grafico dei residui studentizzati in cui si nota un andamento armonico.

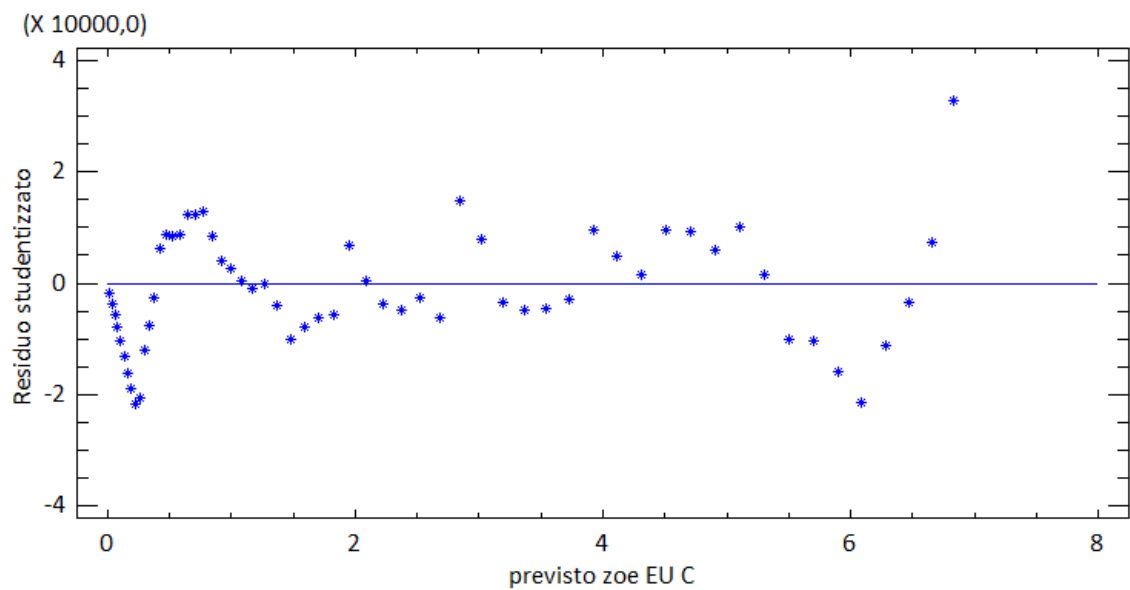


Figura 3.19: I residui studentizzati del modello di Bass

Le stime del modello sono tutte stabili, avendo degli intervalli di confidenza che non contengono zero, quindi il modello, nonostante alcuni difetti, può essere tenuto in considerazione per analizzare il processo di diffusione avvenuto fino a questo punto e come base per modelli più complessi, come il modello GGM.

Procediamo all'applicazione del modello GGM, considerando come valori di partenza di K , p_s e q_s le stime di m , p , q ottenute con il modello di Bass:

Stime iniziali	
K	103875,0
p_c	0,001
q_c	0,01
p_s	0,0017
q_s	0,073

Tabella 3.20: Stime iniziali del modello GGM

Parametro	Stima	Errore Standard	ic inferiore	ic superiore
k	274022	$7,7642e^6$	$-1,52923e^7$	$1,58403e^7$
p_c	0,0102433	0,522346	-1,037	1,057499
q_c	-0,0546722	0,303215	-0,662584	0,553239
p_s	0,0021354	0,00580365	-0,00950025	0,013771
q_s	0,0628547	0,028945	0,00482345	0,120886

Tabella 3.21: Risultati del modello GGM con intervallo di confidenza al 95%

Sorgente	Somma dei quadrati	G.l.	Media dei quadrati
<i>Modello</i>	$5,98516e^{10}$	5	$1,19703e^{10}$
<i>Residuo</i>	$5,2497e^7$	54	972166
<i>Totale</i>	$5,99041e^{10}$	59	
<i>Totale(corr.)</i>	$2,68154e^{10}$	58	

Tabella 3.22: Analisi della varianza del modello GGM

R^2	99,8042 %
<i>Statistica di Durbin-Watson</i>	0,43342

Guardando la tabella 3.21 che riporta le stime del modello con i loro intervalli di confidenza al 95%, il modello risulta da subito non molto soddisfacente, perchè, fatta eccezione per q_s , tutti gli altri parametri sono caratterizzati da instabilità, ma proviamo in ogni caso a dare un'interpretazione alle stime ottenute. Nella fase di comunicazione, il parametro d'innovazione è maggiore di quello di partenza ad indicare un contributo notevole degli innovatori nella fase di diffusione della comunicazione, anomalo è invece q_c che si presenta con un valore negativo, cosa molto insolita per un modello di questo tipo, il passaparola, quindi, secondo questa analisi ha avuto un effetto negativo nel processo che porta alla conoscenza del prodotto, probabilmente un'esperienza negativa come quella di Fluence Z.E. può aver avuto una pessima influenza e generato questo meccanismo di passaparola negativo.

Per quanto riguarda invece la fase di adozione, il parametro d'innovazione ha un valore nella norma, mentre il parametro che caratterizza la componente imitativa non è così elevato.

Nell'adattamento alla serie, il modello GGM presenta gli stessi difetti che avevamo riscontrato con l'applicazione del modello di Bass: sovrastima la parte iniziale, prevede che il ciclo sia nella fase di declino.

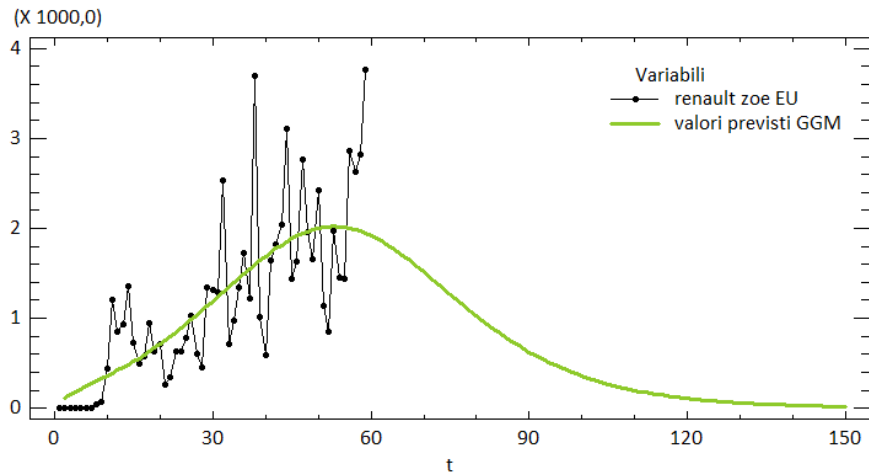


Figura 3.20: La serie mensile di Zoe con la previsione del modello GGM

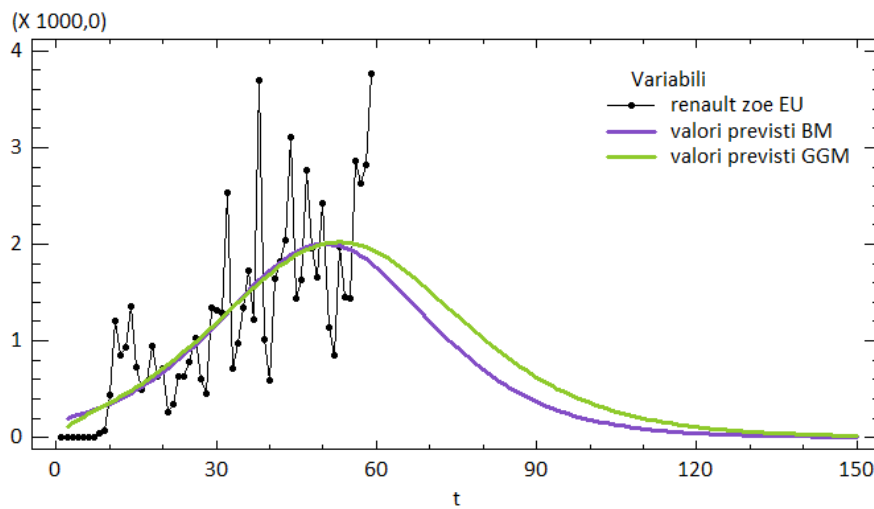


Figura 3.21: I due modelli messi a confronto sulla serie mensile di Zoe

Infatti, come si può vedere dalla figura 3.21, il modello di Bass e il modello GGM sono pressoché uguali ad eccezione della parte finale.

Dal punto di vista visivo perciò, il miglioramento attuato dal modello GGM non è molto significativo, ciò è confermato dal valore basso dell'indice \tilde{R}^2 :

$$\tilde{R}^2 = \frac{0,998042 - 0,997843}{1 - 0,997843} = 0,092 \quad (3.4)$$

I residui sono autocorrelati positivamente come si può notare dalla figura 3.22 e dal valore vicino allo zero della *statistica di Durbin-Watson* (0,43) ($d_L = 1,408, d_U = 1,767$).

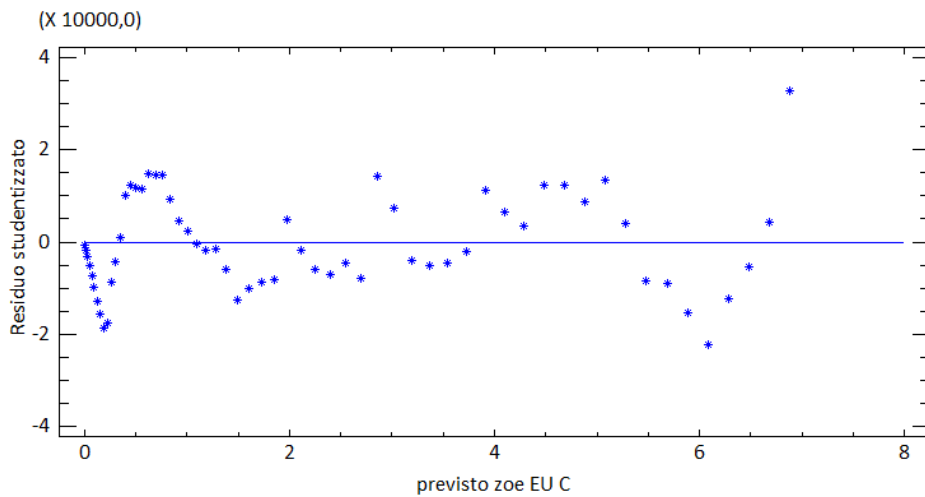


Figura 3.22: I residui studentizzati del modello GGM

Avendo un q_c negativo non è possibile calcolare gli indici di posizione e perciò ipotizzare un possibile posizionamento tra le fasi di adozione e comunicazione.

3.3.1 Come andranno le vendite di Zoe in futuro?

Sia il modello di Bass, sia il modello GGM prevedono che il ciclo di vita di Zoe sia nella fase di declino, il che non è molto realistico, l'uscita della nuova batteria che aumenta l'autonomia fino a 400 Km fa, infatti, ben sperare che le vendite continuino con un trend positivo. È possibile, similmente a Kangoo Z.E., che dopo la fase di crescita che sta avvenendo ora la serie si assesti in una situazione di stazionarietà e poi, o riprenda a crescere grazie a nuovi miglioramenti o si avvii verso la fine del ciclo, a causa dell'entrata di nuovi modelli o di concorrenti spietati. In ogni caso si può pensare che il calo delle vendite non sia così vicino, dato che Zoe sembra essere un modello ben riuscito in casa Renault, si tratta infatti di un'auto ad emissioni zero ma non così costosa e quindi accessibile ad un ampio mercato e non solo alla nicchia dei più abbienti.

3.4 Confronto dei risultati ottenuti applicando i modelli di diffusione

3.4.1 I risultati del modello di Bass

Parametro	Fluence Z.E.	Kangoo Z.E.	Zoe
m	2245,64	28694,4	103875
p	0,00668275	0,0063052	0,00172628
q	0,187833	0,0478322	0,0735354

Tabella 3.23: Parametri del modello Bass applicato alle tre serie

Guardando la tabella 3.23 si nota che il mercato potenziale m ha un valore crescente nelle tre serie, questo indica che il mercato ha subito una notevole estensione. Per quanto riguarda la componente innovativa, p è circa uguale per Fluence Z.E. e Kangoo Z.E., dove sembra che gli innovatori abbiano un ruolo più attivo, è invece minore per Zoe. Considerando ora il parametro d'imitazione, q ha un valore maggiore in Fluence Z.E., ciò denota un'azione importante dell'attività di passaparola, cala in Kangoo Z.E. e

risale leggermente per Zoe, ma per quest'ultime due il valore è inferiore a quello standard e raffigura un contributo imitativo non così vivace come in Fluence Z.E.. In ogni caso, nel processo di diffusione avvenuto nelle tre serie, il modello di Bass individua una predominanza del passaparola rispetto ad iniziative innovative.

3.4.2 I risultati del modello GGM

Parametro	Fluence Z.E.	Kangoo Z.E.	Zoe
K	2276,73	39230,7	274022
p_c	0,00838422	0,00134113	0,0102433
q_c	0,124742	0,0424418	-0,0546722
p_s	0,00394504	0,00647932	0,0021354
q_s	0,374053	0,196206	0,0628547

Tabella 3.24: Parametri del modello GGM applicato alle tre serie

Guardando la tabella 3.24 si nota che nella fase di comunicazione la componente innovativa è circa 0,01 per Fluence Z.E. e Zoe, ciò identifica uno sforzo innovativo più significativo del solito; mentre nella fase di adozione, il parametro p_s ha sempre un valore vicino a quello standard a eccezione di Kangoo Z.E., dove il valore è leggermente superiore.

Come il modello di Bass anche il GGM identifica un ampliamento del mercato, ciò è conforme alla dichiarazione dell'Agenzia internazionale dell'Energia che ha segnalato come il numero di auto elettriche nel mondo abbia superato i 2 milioni nel 2016.

D'altro canto, la dinamica dei parametri mostra come il passaparola sia diminuito, soprattutto nella fase di adozione. Questo fatto non è particolarmente positivo e segnala una lentezza nel processo di adozione, dovuta probabilmente all'alto costo del prodotto e a problematiche come l'assenza di un sistema di colonnine di rifornimento sviluppato che impedisce grandi spostamenti chilometrici. Dunque, nonostante il mercato si sia notevolmente allargato, le auto elettriche fanno ancora fatica ad affermarsi nel mercato, sono ancora, infatti, solo 0.2 percento dei veicoli

totali, questo da una parte indica che c'è ancora ampio spazio di crescita, ma dell'altra che la strada è ancora lunga e in salita.

Conclusioni

L'obiettivo di questo elaborato era studiare il processo di diffusione in Europa che ha contraddistinto le auto Fluence Z.E., Kangoo Z.E., Zoe per mezzo di due modelli per ciclo di vita, il modello di Bass e il modello GGM.

Ad eccezione di Zoe, si è potuto vedere chiaramente come le performance del modello GGM fossero migliori del più semplice modello di Bass. Inoltre, grazie all'applicazione del GGM in Fluence Z.E. e Kangoo Z.E., si è potuto dare un posizionamento alla fase di comunicazione e adozione che caratterizzano il modello. Per mezzo di opportuni indici di posizione si è giunti ad un interessante quanto insolito risultato che vede l'adozione precedere la comunicazione, ad indicare che prima del debutto nel mercato delle due auto c'era già un gruppo di clienti pronto ad acquistare i prodotti, e che il passaparola ha avuto il ruolo non di promuovere il prodotto prima della sua entrata nel mercato, ma di sostenere le vendite durante la diffusione.

Il caso Zoe, invece, si è rivelato un po' più complesso, in quanto caratterizzato da una serie ancora in piena crescita, ma grazie anche all'analisi delle altre due serie si è potuto dedurre qualche ipotesi sul futuro di questa utilitaria elettrica.

Per concludere, considerati i risultati ottenuti, il potenziamento della comunicazione durante la diffusione, soprattutto per Zoe che è ancora in evoluzione, potrebbe portare a dei risultati positivi per il progetto zero Emission di Renault. Inoltre dal confronto dei risultati si è potuto notare come il mercato potenziale si sia evoluto da auto ad auto, ma nonostante ciò il motore elettrico fa ancora fatica a ricoprire un ruolo da protagonista nel mercato automobilistico, solo risolvendo problematiche come il costo

elevato e soprattutto l'assenza di un adeguato ed efficiente sistema di rifornimento si è in grado di attirare nuove tipologie di clientela e quindi garantire alle auto elettriche una quota di mercato più consistente.

Bibliografia

- [1] Bass, F.M. (1969). *A new product growth model for consumer durables*. Management Science, 15, 215-227.
- [2] Bass, F.M., Krishnan, T.V., Jain, D.C. (1994). *Why the Bass model fits without decision variables*. Marketing Science, 13, 203-223.
- [3] Cohen, W.M., Levinthal, D.A. (1990). *Absorptive capacity: A New Perspective on Learning and Innovation*. Administrative Science Quarterly, 35, 128-152.
- [4] Di Fonzo T., Lisi F. (2005). *Serie storiche economiche*. Carrocci Editore, Roma.
- [5] Foroni E. (2016). *Identificazione di variazioni del ciclo di vita del prodotto dovute a scelte aziendali e posizionamento nel mercato*. Università degli Studi di Padova, Tesi di Laurea in Scienze Statistiche e Gestione delle Imprese.
- [6] Guerra, M. (2014). *Diffusione con potenziale variabile: analisi statistica dei consumi di energia nucleare per Stati Uniti, Francia e Germania*. Università degli Studi di Padova, Tesi di Laurea in Scienze Statistiche e Gestione delle Imprese.
- [7] Guseo, R. (2004). *Interventi strategici e aspetti competitivi nel ciclo di vita di innovazioni*. Working Paper Series n.11, Department of Statistical Sciences, University of Padua.

- [8] Guseo, R., Guidolin, M. (2009). *Modelling a dynamic market potential: A class of automata networks for diffusion of innovations*. Technological Forecasting & Social Change, 76 (6), 806-820.
- [9] Guseo, R., Guidolin, M. (2011). *Market potential dynamics in innovation diffusion: Modelling the synergy between two driving forces*. Technological Forecasting & Social Change, 78, 13-24.
- [10] Mahajan, V., Muller, E., Wind, Y. (2000). *New-Product Diffusion Models*. Kluwer Academic Publisher.
- [11] Rogers, E. (2003). *Diffusion of Innovations*. 5th ed., Free-Press, Simon and Shuster, New York.
- [12] Schumpeter, J.A. (1947). *Capitalism, Socialism, and Democracy*. 2nd ed., New York, NY: Harper and Brothers.

Ringraziamenti

Ai miei genitori e mio fratello per avermi sostenuta economicamente e supportata moralmente nei momenti belli ma soprattutto in quelli più difficili.

Alla professoressa Mariangela Guidolin per gli ottimi consigli e per avermi aiutata nella stesura della tesi.

Alla nonna Angelina per la severità e per l'esempio di determinazione.

Alla zia Marilisa, la mia preferita, a tutti gli altri zii e cugini.

A Beatrice, Emma ed Anna per esserci sempre nonostante i miei "No non esco, devo studiare!".

Alle mie compagne di danza e a Sara per le ore di svago, di risate e pettegolezzi.

A Laura e agli altri compagni di università che mi hanno accompagnato in questi anni, perchè hanno reso questo percorso più bello e divertente.

Infine grazie a Federico, perchè mi sopporta e crede in me più di quanto io riesca a fare.