

ESAURIMENTO MONDIALE DEL PETROLIO: MODELLI  
BASS-LET PER IL RICONOSCIMENTO DI GENERAZIONI  
SUCCESSIVE DEL PARCO AUTOMOBILISTICO ITALIANO  
*World Oil Depletion: Bass-let Detection of Italian Cars  
Successive Generations*

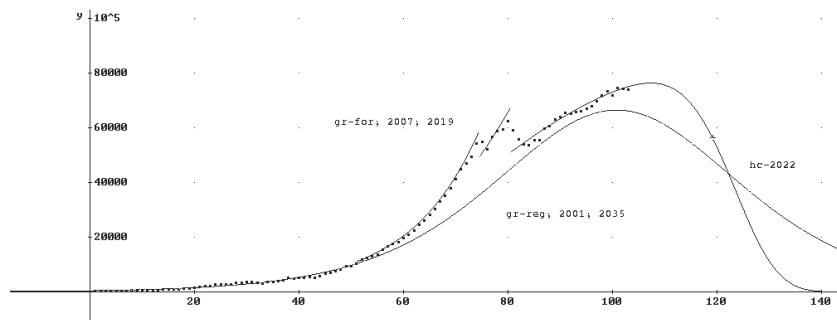
Renato Guseo<sup>1</sup>

Dipartimento di Scienze Statistiche  
Università di Padova  
Via Cesare Battisti, 241-35121 Padova  
(e-mail: guseo@stat.unipd.it)

**ABSTRACT** Individual mobility in the next years may be partially affected by an imminent world crude oil depletion. Italian evolution of circulating cars since 1950 and detection of a successive generations structure starting from car stock data is the main focus. The statistical basis is a generalization of wavelet approach. Bass–Riccati distribution acts as father wavelet. The results highlight some well defined cycles and suggest a potential growth of a new generation within this decade.

## 1 INTRODUZIONE

L'esaurimento del *crude oil* mondiale è da lungo tempo oggetto di interesse per le evidenti implicazioni strategiche ed economiche. Il processo di produzione è stato modellato a partire dagli anni '50, Hubbert (1949). La ripresa di interesse sul tema può essere fatta risalire ad un lavoro di larga diffusione dovuto a Campbell C.J. e Laherrère (1998). Più di recente, in Bakhtiari (2004) si presentano le stime basate sul modello WOCAP costruito a partire da valutazioni geologiche dovute a Campbell. In Guseo e Dalla Valle (2004), Guidolin (2004) e Guseo *et al.* (2005) si affronta la modellazione in modo totalmente innovativo mediante processi di diffusione a ciclo di vita limitato e perturbato. Si conferma il ruolo centrale degli shock storici osservati, 1973 e 1979, mentre le variazioni del prezzo del greggio sembrano avere un ruolo subordinato. Di grande rilievo risulta lo shock a memoria lunga, che ha origine nel primo dopoguerra, 1951, ed i cui effetti sono ancora attuali. Si veda la Figura 1 ove in ascissa si riportano gli anni con origine il 1900, in ordinata le produzioni medie giornaliere (in migliaia di barili) e le corrispondenti stime prodotte in Guseo *et al.* (2005) con un GBM (Generalized Bass Model, Bass *et al.* (1994)) caratterizzato da tre shock e comparato con un modello di Bass non perturbato. I risultati principali dei lavori di Bakhtiari (2004) e di Guseo *et al.* (2005) risultano sostanzialmente convergenti sulla stima dell'anno di picco della produzione giornaliera, precisamente il 2007. Si ha inoltre perfetta coincidenza con riferimento alla produzione media giornaliera prevista per il 2019, circa 55 milioni di barili. Quest'ultimo dato si riferisce al tempo che corrisponde all'estrazione del 90% dell'URR (Ultimate Recoverable Resource).



**Figura 1.** World Oil Depletion: GBM con tre shock; confronto col modello di Hubbert–Bass.

L'evoluzione del parco automobilistico italiano è naturalmente associata allo sviluppo economico mondiale e regionale. Quest'ultimo è legato in modo indissolubile al surplus di crude oil dagli anni '50 in poi. I dati di stock delle autovetture circolanti in Italia sono stati ottenuti dall'ACI (2003) con opportune integrazioni ISTAT.

Il lavoro è organizzato come segue. La sezione 2 introduce le caratteristiche principali della distribuzione di Bass–Riccati. La sezione 3 presenta la modellazione “Bass–let” di generazioni successive con assorbimento totale e si propone una stima non lineare che consente inferenze piuttosto robuste. La sezione 4 è dedicata alle applicazioni ove si evidenziano, in particolare, il caso a quattro generazioni ed il suo affinamento ARMAX. La discussione conclusiva evidenzia al centro del decennio corrente la possibile insorgenza di una nuova generazione. Quale sia la sua natura è presto per affermarlo: verosimilmente una configurazione bi-fuel o ibrida in attesa di scelte più praticabili sui piani tecnologico ed economico.

## 2 LA DISTRIBUZIONE DI BASS–RICCATI

Il modello diffusivo standard di Bass (1969) è basato essenzialmente su una equazione differenziale di Riccati, si veda ad esempio Guseo (2004a),

$$f(t) = F(t)' = (p + qF(t))(1 - F(t)), \quad p, q > 0, \quad (1)$$

ove  $F(t)$  è una funzione di ripartizione e  $f(t)$  è la corrispondente densità. La ripartizione è usualmente riferita all'indice temporale  $t$  ed esprime quindi la probabilità che l'evento si sia verificato non oltre  $t$ .

La soluzione passante per l'origine,  $F(0) = 0$ , ha come asintoti  $-\frac{p}{q}$  e 1 ed è monotona,

$$F(t) = \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p}e^{-(p+q)t}}, \quad t > 0, \quad q > p > 0 \quad (2)$$

con densità pari a,

$$f(t) = \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p + qe^{-(p+q)t})^2}, \quad t > 0, \quad q > p > 0. \quad (3)$$

Si possono studiare alcuni aspetti speciali della forma distributiva qui omessi per brevità.

### 3 GENERAZIONI SUCCESSIVE INDIPENDENTI

I modelli di crescita *ad esse* sono stati utilizzati in letteratura per trattare processi di conteggio che presentano una saturazione temporale sul livello  $m$ . Tali processi mantengono la stazionarietà se non insorge una nuova generazione in grado di acquisire gli spazi occupati dalla precedente e di aggiungere la propria autonoma posizione. Questa tematica è stata affrontata in Norton e Bass (1987) e, per gli aspetti statistici, in Guseo (2004b).

#### Generazioni successive: BM indipendenti con migrazione totale

Si supponga che il transitorio sia descritto da un modello di Bass normalizzato  $F(t_i)$  con parametri locali costanti  $p_i, q_i, i = 1, 2, \dots, k$  per cui,

$$F(t_i) = \frac{1 - e^{-(p_i+q_i)t_i}}{1 + \frac{q_i}{p_i} e^{-(p_i+q_i)t_i}}, \quad (4)$$

ove  $t_i = t - c_i$  indica il tempo trascorso dall'origine  $c_i$  del transitorio e  $F(t_i) = 0$  per  $t_i < 0$ .

Se non ci sono generazioni successive, il processo delle adozioni istantanee è del tipo  $S_{1,t} = F(t_1)m_1$ , e diviene stazionario sul picco potenziale  $m_1$  per  $t > c_1$ . Se insorge una nuova successiva generazione al tempo  $c_2 > c_1$ , si ipotizza il passaggio graduale, per sostituzione, dalla vecchia innovazione adottata alla più recente.

Nell'ipotesi di **migrazione totale**, il modello per alcune generazioni – ad esempio quattro – può assumere la forma che segue,

$$\begin{aligned} S_{1,t} &= F(t_1)[m_1][1 - F(t_2)], \\ S_{2,t} &= F(t_2)[m_2 + F(t_1)[m_1]][1 - F(t_3)] \\ S_{3,t} &= F(t_3)[m_3 + F(t_2)[m_2 + F(t_1)[m_1]]][1 - F(t_4)] \\ S_{4,t} &= F(t_4)[m_4 + F(t_3)[m_3 + F(t_2)[m_2 + F(t_1)[m_1]]]. \end{aligned} \quad (5)$$

È interessante notare che per  $t \rightarrow +\infty$  le adozioni istantanee  $S_{1,t}, S_{2,t}$  e  $S_{3,t}$  tendono a zero poiché i fattori di riduzione dinamica  $[1 - F(t_i)], i = 2, 3, 4$  sono nulli al limite. Le adozioni istantanee  $S_{4,t}$  ereditano, al limite, la somma dei picchi individuali delle generazioni precedenti per cui  $S_{4,\infty} = \sum_{i=1}^4 m_i$ . Si realizza quindi una migrazione completa. La somma di tutte le adozioni definite ai punti (4) e (5) porge il mercato istantaneo complessivo

$$\tilde{y}(t) = S_{1,t} + S_{2,t} + S_{3,t} + S_{4,t} = \sum_{i=1}^4 F(t_i)m_i. \quad (6)$$

In alcuni casi l'eccessiva pesantezza parametrica può essere ridotta con l'introduzione di vincoli, ad esempio,  $p_i = p$  e  $q_i = q$  per  $i = 1, 2, \dots, 4$ .

#### Approccio Bass-let

La modellazione proposta nella (6) utilizza una base di funzioni particolare,  $F(t_i), 1, 2, \dots$ , ove le  $F(\cdot)$  è la ripartizione normalizzata di una distribuzione traslata di Bass (4). La forma statistica del modello è definita come segue

$$y(t) = \sum_{i=1}^k F(t_i)m_i + \varepsilon_t, \quad t = 1, 2, \dots, \quad (7)$$

ove  $t_i = t - c_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$  e  $\varepsilon_t$  rappresenta un errore i.i.d. di media nulla,  $E(\varepsilon_t) = 0$ , con varianza costante  $\sigma^2$  oppure, congiuntamente alla parte sistematica di input del sistema, un opportuno ARMAX. Una modellazione duale può far riferimento alla differenziazione prima

$$y'(t) = h(t) + \varepsilon'_t = \sum_{i=1}^k f(t_i)m_i + \varepsilon'_t, \quad t = 1, 2, \dots, \quad (8)$$

con assunzioni simili sull'errore  $\varepsilon'_t$  ove  $f(t_i)$  rappresenta la densità (3) con origine in  $c_i$ .

L'approccio qui seguito, detto per semplicità *Bass-let*, presenta una naturale affinità con l'impostazione basata su *wavelet*. Si veda ad esempio Härdle *et al.* (1998). Vanno tuttavia evidenziati alcuni aspetti specifici. Nell'impostazione *wavelet* si insiste particolarmente sulle basi ortonormali di Haar, basate su funzioni localmente costanti che definiscono un sistema denso in  $L_2(R)$ . Le generalizzazioni si fondano sulla scelta di una *wavelet padre*  $\phi$  cui corrisponde un sistema ortonormale  $\phi_{0k}$  basato su traslazioni,  $k \in Z$ , contenuto in  $L_2(R)$  ed una successiva specificazione (multirisoluzione) che viene ortogonalizzata mediante una *wavelet madre*  $\psi$ ,

$$y'(t) = \sum_k \alpha_k \phi_{0k}(t) + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_k \beta_{jk} \psi_{jk}(t) + \varepsilon'(t), \quad (9)$$

ove i coefficienti sono  $\alpha_k = \int h(t) \overline{\phi_{0k}(t)} dt$  e  $\beta_{jk} = \int h(t) \overline{\psi_{jk}(t)} dt$ .

La costruzione di basi ortonormali in questo ambito costituisce la preoccupazione più importante. Tali costruzioni possono prendere le mosse dalle basi di Riesz con un'opportuna successiva ortogonalizzazione. Premessa necessaria e sufficiente affinché una *funzione generatrice*  $g \in L_2(R)$  definisca una base di Riesz,  $\{g(\cdot - k), k \in Z\}$ , è che esistano  $A > 0$  e  $B > 0$  tali che  $A \leq \sum_k |\hat{g}(\xi + 2\pi k)|^2 \leq B$ , ove  $\Gamma(\xi) = (\sum_k |\hat{g}(\xi + 2\pi k)|^2)^{1/2}$  è la *funzione di overlap*.

Si può tuttavia constatare che la trasformata di Fourier  $\hat{g}(\cdot)$  non è facilmente calcolabile in forma chiusa nel caso della densità del modello standard di Bass. Questa difficoltà preclude la via alle ortogonalizzazioni. È ragionevole tener conto, pertanto, che in concreto la successione delle densità,  $f(t_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots$ , presenta un *overlapping* definito direttamente dal processo di sostituzione (per continuità del servizio). Si reputa allora sensato il ricorso ad una base di funzioni parzialmente sovrapposte riferibili ad un'unica funzione generatrice. Tale proposta può avere il pregio di una ridotta cardinalità dei coefficienti peraltro facilmente interpretabili.

#### 4 IL PARCO AUTOMOBILISTICO ITALIANO: GENERAZIONI SUCCESSIVE

L'applicazione che segue è un'analisi del parco automobilistico italiano, dal 1950 al 2002, secondo l'archivio ACI integrato con le informazioni ISTAT necessarie a colmare alcune lacune delle serie storiche originarie.

L'obiettivo che si intende perseguire è quello di individuare, a partire dal dato di stock, la struttura di alcune generazioni successive di automobili. Si ipotizza infatti che l'insorgere di una nuova generazione possa produrre meccanismi di migrazione sostanzialmente completi. Nella Tabella 1 si presentano i risultati principali caratterizzati da un adattamento ed una significatività notevoli. Si evidenziano le tre date di insorgenza delle nuove generazioni, precisamente, 1959, 1974 e 1989. Esula dalla presente trattazione un'approfondito esame.

**Tabella1.** Risultati della stima con quattro generazioni; ( ) limiti di confidenza asintotici di livello 95%.

| $m_1$                             | $p$                                  | $q$                                | $m_2$                             | $c_2$                             | $m_3$                             | $c_3$                             | $m_4$                           | $c_4$                             | $R^2$    | $D - W$  |
|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------|----------|
| 6,81853<br>(5,04158)<br>(8,59548) | 0,002529<br>(0,000402)<br>(0,004658) | 0,368517<br>(0,31281)<br>(0,42422) | 10,3628<br>(8,74476)<br>(11,9809) | 8,91902<br>(7,87696)<br>(9,96107) | 12,7204<br>(11,7843)<br>(13,6565) | 23,6158<br>(22,0857)<br>(25,1459) | 7,00095<br>(1,4268)<br>(12,575) | 38,9621<br>(33,6601)<br>(44,2641) | 0,999027 | 0,515654 |

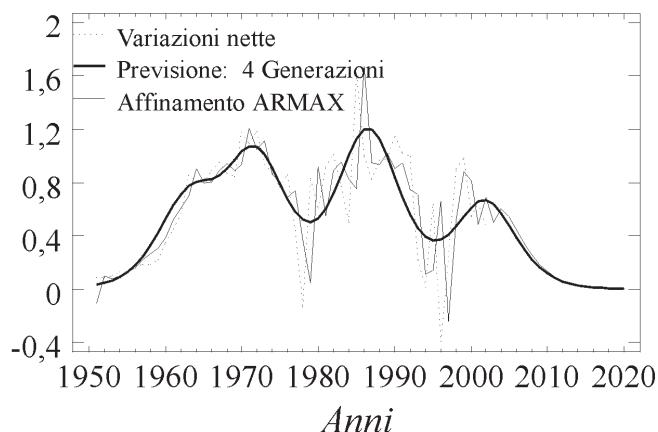
Pare tuttavia interpretabile bene la data del 1959 alla soglia del *boom* economico degli anni sessanta. È interessante ricordare questo dato con l'insorgenza di uno *shock* esponenziale positivo intorno agli anni 1964 evidenziato in Guidolin (2004) nell'ambito dello studio del processo di produzione mondiale del petrolio (*crude oil*). Una conferma definitiva è evidenziata in Guseo *et al.* (2005) ove si evidenzia l'insorgere di uno shock a livello mondiale con memoria lunga già a partire dal 1951. Il ciclo successivo ha origine stimata nel 1974 subito dopo la guerra del Kippur associata alla prima crisi energetica mondiale del 1973. Il ciclo che segue si posiziona intorno al 1989, a valle del secondo shock petrolifero, quello più devastante e duraturo. Tale shock, dovuto alle politiche OPEC di riduzione programmata delle estrazioni, parte dall'anno 1979 e si protrae per parecchi anni. Il ciclo del 1989 si caratterizza per l'inizio di una forte modificazione dei motori a combustione interna mediante tecnologie a controllo elettronico e con il corrispondente alleggerimento degli autoveicoli compatibile con i noti eventi bellici che hanno interessato l'area del Medio Oriente. Si pensi ad esempio che nel 1979 Saddam Hussein diventa presidente dell'Iraq mentre in Iran ha luogo un cambio di regime con l'allontanamento dello Scià. Nel periodo che va dal 1980 al 1988 si svolge un intervento bellico tra Iran e Iraq che costringe la Nato ad intervenire per scortare i rari convogli di petroliere minacciate dagli eventi in corso. Nel 1990 si assiste all'invasione del Kuwait seguita nel 1991 dalla guerra del Golfo (prima).

Di interesse sono anche i contributi specifici dei singoli cicli (in milioni di autoveature). Il terzo presenta infatti il valore di  $m$  più elevato,  $m_3 = 12,72$  seguito da una flessione nel ciclo successivo,  $m_4 = 7$ . È di particolare interesse notare il divario tra i parametri  $p$  e  $q$ . Il loro rapporto evidenzia una dominanza oggettiva del meccanismo imitativo. I residui del modello denotano una struttura autocorrelata (Darbin-Watson statistic = 0,5156) per cui si è proceduto con un affinamento ARMAX.

È istruttivo rappresentare le differenze prime sia dei dati di stock sia delle previsioni con il modello a quattro generazioni e con il successivo modello ARMAX(2,0). Tali differenze esprimono essenzialmente le immatricolazioni al netto delle radiazioni. Nella Figura (2) si conferma l'insorgenza di una nuova generazione (se si esclude quella del 1959) subito dopo il raggiungimento di un picco massimo locale (1974 e 1989). Tale indicazione euristica consente di dare un'interpretazione al massimo locale che si trova intorno al 2003-04. In questa finestra dovrebbe situarsi l'inizio di una nuova generazione. I sintomi sono in parte presenti. È interessante notare che in Guidolin (2004) si individua la stessa finestra di riferimento in relazione alla teoria della successione dei cicli energetici proposta inizialmente da Cesare Marchetti e rettificata tecnicamente con l'ausilio di modelli di Bass generalizzato (Bass *et al.* (1994)) in modo da incorporare gli shock deterministici.

Si osserva che la sequenza dei cicli, ben delineati nella Figura (2), denota un comportamento monotono decrescente per cui pare di capire che il successivo imminente ciclo potrebbe essere dimensionalmente più contenuto dei precedenti, probabilmente in relazione agli

## Generazioni successive: parco automobilistico italiano



**Figura2.** Variazioni nette annuali del parco automobilistico italiano: fonti ACI e ISTAT 1950 - 2002.

sforzi tecnologici necessari in un contesto energetico meno favorevole.

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bakhtiari, A.M.S. (2004): World oil production capacity model suggests output peak by 2006–07, *Oil and Gas Journal*, Apr. **26**, 18–20.
- Bass, F.M. (1969): A new product growth model for consumer durables, *Management Science*, **15**, 215–227.
- Bass, F., Krishnan, T., Jain, D. (1994): Why the Bass model fits without decision variables, *Marketing Science*, **13**, 203–223.
- Campbell, C.J., Laherrère, J.H. (1998): The End of Cheap Oil, *Scientific American*, March 1998, 78–83.
- Guidolin, M. (2004): Cicli energetici e diffusione delle innovazioni. Il ruolo dei modelli di Marchetti e di Bass, *Tesi*, Università di Padova.
- Guseo, R. (2004a): *Organizzazione statistica dell'informazione e scelte di gestione: Teoria, Tecniche e Mini-Stage Aziendali*, seconda edizione, CEDAM, Padova.
- Guseo, R. (2004b): Interventi strategici e aspetti competitivi nel ciclo di vita di innovazioni, *Working Paper Series*, **11**, Department of Statistical Sciences, Università di Padova.
- Guseo, R. and Dalla Valle, A. (2004): Oil and Gas Depletion: Diffusion Models and Forecasting under Strategic Intervention, *Atti della LXII Riunione scientifica della Società Italiana di Statistica*, 733–736, Cleup, Padova, (versione estesa in revisione per SMA).
- Guseo, R., Dalla Valle, A. and Guidolin, M. (2005): World Oil Depletion Models: Price Effects Compared with Strategic or Technological Interventions, (manoscritto).
- Härdle, W., Kerkycharian, G., Picard, D., Tsybakov, A. (1998): *Wavelets, Approximation, and Statistical Applications*, Lecture Notes in Statistics, v. **129**, Springer-Verlag, New York.
- Hubbert, M.K. (1949): Energy from fossil fuels, *Science*, **4**, 103–109.
- Norton, J.A., Bass, F.M. (1987): A diffusion theory model adoption and substitution for successive generations of high technology products, *Management Science*, **33**, 1069–86.