

## Modello econometrico per la stima dell'efficienza di scala e di costo delle concessionarie autostradali italiane.

Il modello utilizza la metodologia della funzione di frontiera di costo stocastica (Stochastic Frontier Analysis, SFA in acronimo) e, sulla base di diverse funzioni di costo (di tipo Cobb-Douglas e translogaritmico), consente di individuare i fattori che meglio spiegano l'andamento dei costi di produzione per concessionarie autostradali sia di piccola che di media-grande dimensione.

Pur assumendo come ipotesi di fondo una specifica struttura della tecnologia, comunemente di difficile definizione a livello funzionale, il modello, oltre ad essere il più utilizzato nella prassi economico-regolatoria, permette realisticamente di tener conto di possibili shock esogeni (ovvero al di fuori del controllo delle imprese) che possono originarsi in un certo intervallo di tempo.

L'approccio selezionato utilizza i dati delle diverse imprese per costruire una frontiera di costo efficiente costituita dall'insieme dei punti che identificano il costo minimo di produzione per ogni livello di output, dati i prezzi dei fattori produttivi e le caratteristiche qualitative-quantitative della tecnologia esistente. La distanza tra le osservazioni empiriche e il benchmark consente di misurare e confrontare l'efficienza di costo delle varie concessionarie nel corso del tempo e di determinare la dimensione ottima minima del servizio.

Il metodo prescelto di analisi prevede stime di funzioni di costo di tipo multi input/multi output.

La funzione di costo stimata è del tipo:

$$C = f(V, LKm, P_i, H)$$

dove  $C$  è la variabile dipendente, e rappresenta i costi totali di produzione;  $V$  sono i volumi di traffico (calcolati come numero di km percorsi);  $LKm$  è l'estensione della rete in km;  $P_i$  sono i prezzi degli input produttivi  $i$ , rappresentati – in linea con la letteratura economica di settore – dai seguenti fattori produttivi: Lavoro, Capitale, Manutenzione e Altri Fattori (materiali e servizi);  $H$  invece rappresenta una serie di controlli ambientali/geografici e di contesto ritenuti rilevanti per il settore in analisi.

In particolare, il modello di stima realizzato prende in considerazione le seguenti voci di costo:<sup>1</sup>

- *Costi totali di manutenzione*: costi totali di manutenzione ordinaria e straordinaria (pavimentazione + stazioni ed edifici + gallerie ed altre opere d'arte maggiori + verde e pulizie + necessità invernali + altri elementi).
- *Costi totali del lavoro*.
- *Costi totali di altri servizi*: costo per servizi terzi + oneri diversi di gestione.
- *Totale ammortamenti*: ammortamenti materiali (devolvibili + non devolvibili) + ammortamenti immateriali (diritti concessori immateriali) + altri immateriali.
- *Oneri finanziari*: seppur fortemente influenzati dalle decisioni finanziarie dei singoli concessionari, gli oneri finanziari esprimono un livello minimo del costo di capitale, rappresentato dal costo del capitale preso a prestito – *lower bound* del costo del capitale dell'impresa.

I costi operativi sono calcolati come la somma delle prime tre variabili, mentre i costi totali come la somma di tutte le variabili di costo sopraelencate.

<sup>1</sup> Non si considerano i costi per concessione e subconcessione (canoni).

I prezzi dei fattori produttivi ( $P_i$ ) sono stati calcolati come segue:

- *Prezzo del lavoro (PL)*: Costi totali del lavoro / Numero medio di addetti<sup>2</sup>.
- *Prezzo di manutenzione (PM)*: Costi totali di manutenzione / Volumi di traffico.
- *Prezzo altri servizi (PS)*: Costo di altri servizi / Lunghezza della rete.
- *Prezzo del capitale (PK)*: (Totale ammortamenti + oneri finanziari) / Lunghezza della rete.

Per quanto concerne gli output si sono utilizzate le seguenti variabili:

- *Volumi di traffico (Vol)*: Km totali percorsi da veicoli paganti (stima) = veicoli \* Lunghezza di rete<sup>3</sup>.
- *Lunghezza di rete (L\_km)*: Km di autostrada in pianura + Km di autostrada in territorio montuoso.

Per “catturare” nel modello ulteriori caratteristiche temporali, geografiche, territoriali ed ambientali, che tipicamente influenzano i costi di un concessionario autostradale si sono costruite le seguenti variabili di controllo:

- *Rete a tre o più corsie percentuale (Corsie3/L\_km)*: (km di rete a 3 corsie + km di rete a 4 corsie) / Lunghezza della rete. Questa variabile permette di “catturare” i maggiori costi dei concessionari che gestiscono tratte con tre o più corsie.
- *Km di opere maggiori percentuali (Km\_opereMaggiori/L\_km)*: (km di gallerie + km di ponti e viadotti) / Lunghezza di rete. Questa variabile permette di catturare il maggior costo di quei concessionari che gestiscono tratte con opere d’arte maggiori (gallerie, ponti o viadotti). La misura di riferimento utilizzata in questo caso è la lunghezza in km di tali opere, rapportata alla lunghezza complessiva delle infrastrutture autostradali oggetto di concessione.
- *Livello di qualità (Ipav)*: IPAV (indicatore relativo allo stato della pavimentazione). Questa variabile permette di considerare i maggiori costi sostenuti per mantenere un alto livello di qualità della pavimentazione stradale.
- *Anni residui della concessione percentuali (Anni\_residui\_perc)*: Anni\_residui / Durata totale concessione. Questa variabile sarà tanto più elevata (valore massimo = 1) tanto più è lontana la scadenza della concessione e, viceversa, sarà tanto più prossima a zero tanto più si è vicini alla scadenza della concessione. Essa permette di tenere conto del fatto che alcuni concessionari definiscono politiche di ammortamento in funzione della durata residua della concessione, ossia ammortamenti inizialmente bassi che crescono all'avvicinarsi della scadenza della concessione, con evidente impatto sulla struttura dei costi del servizio.
- *Rapporto debito su equity (Deb\_eq)*: Debito / Equity. Questa variabile tiene conto della diversa propensione ad utilizzare la leva finanziaria a copertura dei costi di investimento, laddove una maggiore esposizione debitoria comporta maggior costi in termini di oneri finanziari.
- *Dummy temporali (dumT, per gli anni T = 2005, ..., 2013)*: Queste variabili dicotomiche permettono di catturare le peculiarità che ogni diverso anno può avere sull’andamento del traffico e di conseguenza l’efficienza delle concessionarie.

Inoltre sono state effettuate ulteriori stime, per tener conto sia del tipo di regime tariffario applicato, sia del tipo di controllo esercitato da parte di un gruppo societario. Ciò è stato fatto introducendo le seguenti variabili dicotomiche:

- *Dummy regime tariffario (dum\_regN, con N = 1,...,6)*: Queste dummy permettono di tenere in considerazione l’eventuale diverso impatto sui costi generato dai diversi (6) regimi tariffari attualmente in vigore.
- *Dummy gruppo controllante la concessionaria (dum\_gruppo)*: Queste variabili binarie permettono di controllare l’eventuale differenziale di efficienza tra concessionarie appartenenti ai vari gruppi industriali (ad esempio, gruppo Atlantia o SIAS) o a controllo pubblico.

<sup>2</sup> Il Numero medio di addetti (per riscossione, manutenzioni e sicurezza, uffici, altro, con rapporto di lavoro a tempo sia determinato che indeterminato) è stato calcolato come media del numero di addetti al 31/12 di due anni.

<sup>3</sup> I veicoli transitati nella rete sono stati stimati con la somma dei veicoli in uscita presso le porte manuali, porte a tessera, casse automatiche e porte telepass, in quanto il dato sui veicoli in uscita, contrariamente a quello su quelli in entrata, è stato reso disponibile dalla maggior parte dei concessionari. Si sottolinea comunque che il valore veicoli\*km sovrastima l’effettivo ammontare dei km percorsi, in quanto implicitamente assume che tutti i veicoli in uscita abbiano percorso l’intera rete.

Nelle analisi econometriche sono state considerate le seguenti forme funzionali:

- La funzione Cobb-Douglas, a elasticità di sostituzione costante, più semplice e intuitiva dal punto di vista dell'interpretazione dei coefficienti, ma che impone maggiori restrizioni sui valori degli stessi e che, riformulata in termini logaritmici, assume la seguente formula:

$$\ln C = \alpha + \sum_i \beta_i \ln x_i + \varepsilon_i$$

dove la variabile  $C$  rappresenta i costi di produzione,  $x_i$  sono i prezzi dei fattori produttivi o gli output di produzione,  $\beta_i$  rappresenta il valore dell'elasticità del costo rispetto al fattore  $x_i$  ed  $\varepsilon_i$  rappresenta il termine di errore della stima.

- La funzione translogaritmica, più flessibile, soprattutto in riferimento alle economie di scala che possono variare con l'output, ma che richiede un ampio numero di osservazioni, in quanto la stima dei numerosi parametri consuma molti gradi di libertà. La formula è la seguente:

$$\ln C = \alpha + \sum_i \beta_i \ln x_i + \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln x_i \ln x_j + \varepsilon_i$$

dove i coefficienti  $\gamma_{ij}$  rappresentano la variazione dell'elasticità del costo rispetto ai fattori  $x_i$  al variare dei fattori stessi; attraverso questi coefficienti, diversamente da una funzione di Cobb-Douglas, è possibile tenere in considerazione le interazioni tra fattori diversi, consentendo quindi alle economie di scala di adeguarsi al variare, ad esempio, dell'output prodotto.

Per garantire l'omogeneità rispetto ai prezzi dei fattori produttivi, il modello normalizza tutti i prezzi e i costi totali mediante il prezzo di uno specifico fattore (ad esempio del lavoro o del capitale) e alternativamente effettua un ulteriore tipo di normalizzazione dividendo le singole variabili per il rispettivo valore mediano. Tale operazione di normalizzazione permette di eliminare il possibile effetto della componente dei costi legata all'aumento del costo della vita (inflazione), in quanto tutte le variabili sono divise per lo stesso deflatore.

I modelli sono stati stimati con il programma STATA, tramite la funzione *xtfrontier* (Stochastic frontier models for panel data) utilizzando di default un modello di tipo *time-invariant*, ovvero ipotizzando che il termine di inefficienza abbia una distribuzione normale troncata. Come analisi di sensitività, si è altresì considerato il modello di tipo *time-varying decay*, ovvero con inefficienza e progresso tecnico mutevoli nel tempo. I modelli utilizzati sono quelli che garantiscono stime e risultati più stabili e meno soggetti a variazione nell'analisi di efficienza.

A livello operativo si sono dunque utilizzati modelli di costo totale di produzione diversi: per i costi operativi e i costi totali di lungo periodo, con funzione Cobb-Douglas e translogaritmica, senza normalizzazione, con normalizzazione delle variabili con il prezzo del fattore lavoro e con variabili normalizzate mediante i rispettivi valori mediani. Per ognuno dei suddetti modelli sono stati inclusi in maniera graduale i vari regressori e le variabili dicotomiche, al fine di ottenere specializzazioni sempre più complete e in grado di spiegare in maniera più soddisfacente la variabile dipendente. In totale sono state stimate circa 280 regressioni, che hanno portato a risultati stabili tra le diverse specificazioni.

Nelle tabelle che seguono se ne riporta una sintesi. Per ogni variabile è indicato il valore del coefficiente stimato, la sua significatività statistica (\*  $p < 0.10$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$ ) e, in parentesi tonda, la deviazione standard. Le stime riportate sono divise in due gruppi: il modello 1a incorpora tutte le variabili economiche prima illustrate, ad eccezione della variabile finanziaria (rapporto debito su equity) che è invece aggiunta nel Modello 1b.

**Tabella 1 - Costi totali di produzione con Funzione Cobb-Douglas, normalizzazione rispetto ai valori mediani**

	Mod 1a	Mod 1b	Mod 2a	Mod 2b
In(PLn)	0,3453*** (0,0557)	0,3325*** (0,0568)	0,1979*** (0,0609)	0,1957*** (0,0618)
In(PSn)	0,2447*** (0,0238)	0,2493*** (0,0247)	0,2354*** (0,0228)	0,23773*** (0,0232)
In(PMn)	0,2124*** (0,0232)	0,2117*** (0,0233)	0,2146*** (0,0221)	0,2148*** (0,0223)
In(PKn)	0,2373*** (0,0101)	0,2375 (0,0104)	0,2218 (0,0100)	0,2222*** (0,0101)
In(Volumin)	0,2404*** (0,0249)	0,2402*** (0,0252)	0,2455*** (0,0230)	0,2451*** (0,0233)
In(L_km)n	0,7187*** (0,0574)	0,7225*** (0,0637)	0,6838*** (0,0528)	0,6825*** (0,0551)
(Corsie3/L_km)n	0,0027*** (0,0010)	0,0028*** (0,0010)	0,0017 (0,0011)	0,0017 (0,0011)
(km_OpereMaggiori/L_km)n	0,0084* (0,0050)	0,0085* (0,0052)	0,0035 (0,0088)	0,0033 (0,0093)
Ipavn	0,1798* (0,0984)	0,1925* (0,1016)	0,2066** (0,1022)	0,2109** (0,1042)
Anni_residui_percn	-0,0218** (0,0089)	-0,0213** (0,0091)	-0,0355*** (0,0103)	-0,0361*** (0,0109)
(Debito/Equity)n		0,0009 (0,0009)		0,0006 (0,0008)
Costante	-0,2157** (0,1043)	-0,2244** (0,10499)	-0,2793** (0,1090)	-0,2854** (0,1114)
Time dummy	no	no	si	si
N. obs	183	180	183	180
Economie di scala	1,0426	1,0387	1,0761	1,0781

Si osserva che le variabili *PS/PL*, *PM/PL*, *PK/PL*, *Vol*, *L\_km*, *Corsie3/L\_km*, sono molto significative e correlate positivamente a *CT/PL*, in linea con quanto previsto dalla letteratura economica. Il segno dei coefficienti di *Anni\_residui/durata\_concessione* è negativo, ovvero i costi totali sostenuti dalle concessionarie sono più alti se si è più vicini alla scadenza della concessione e, viceversa, quando si è lontani dalla scadenza, gli ammortamenti sostenuti sono più bassi, il valore finale dell'asset è maggiore e di conseguenza minori saranno i costi totali. La variabile *Debito/Equity* inclusa nella specificazione più completa (Modello b) non risulta significativa; dunque, sembra che la struttura finanziaria delle società non sia un fattore particolarmente influente sulla funzione dei costi totali una volta controllato per le altre variabili considerate (tra cui il prezzo del fattore capitale e gli anni residui di concessione).

Nelle stime riportate in Tabella 2 si fa invece riferimento ad una funzione translogaritmica, che permette di stimare l'esistenza di efficienze strutturali al variare della lunghezza in km dell'infrastruttura stradale oggetto di concessione.

**Tabella 2 – Costi totali di produzione con Funzione Translog, normalizzazione rispetto ai valori mediani**

	Mod 1a	Mod 2	Mod 3	Mod 1b
In(PL)	0,3049*** (0,029)	0,3164*** (0,0315)	0,3220*** (0,0356)	0,2099*** (0,0421)
In(PS)	0,1083*** (0,0131)	0,1082*** (0,0136)	0,1156*** (0,0141)	0,1106*** (0,0139)
In(PM)	0,2277*** (0,0091)	0,2173*** (0,0113)	0,2225*** (0,0119)	0,2338*** (0,0092)
In(PK)	0,3759*** (0,0061)	0,3871*** (0,0078)	0,3796*** (0,0076)	0,3703*** (0,0061)
In(Volumi)	0,2954*** (0,0300)	0,2768*** (0,0299)	0,2403*** (0,0299)	0,4250*** (0,0235)
In(L_km)	0,5582*** (0,0332)	0,5719*** (0,0361)	0,5845*** (0,0406)	0,4907*** (0,0350)
Anni_residui_perc		-0,0474*** (0,0159)	-0,0454*** (0,0155)	
(Debito/Equity)			0,0030** (0,0014)	
0,5*[In(PL)]^2	0,1717 (0,1157)	0,0301 (0,1139)	-0,1182 (0,1307)	0,2964*** (0,1141)
0,5*[In(PS)]^2	0,1188*** (0,0213)	0,1036*** (0,0206)	0,0956*** (0,0229)	0,1363*** (0,0231)
0,5*[In(PM)]^2	0,1188*** (0,0247)	0,1185*** (0,0235)	0,1310*** (0,0236)	0,1091*** (0,0245)
0,5*[In(PK)]^2	0,1230*** (0,0070)	0,1293*** (0,0070)	0,1269*** (0,0059)	0,1166*** (0,0069)
0,5*[In(Volumi)]^2	0,1441*** (0,0401)	0,1374*** (0,0260)	0,1391*** (0,0250)	0,1841*** (0,0266)
0,5*[In(L_km)]^2	0,3897*** (0,0710)	0,3766*** (0,0758)	0,4119*** (0,0813)	0,3310*** (0,0763)
0,5*(Anni_residui_perc)^2		0,0556** (0,0225)	0,0537** (0,0220)	
0,5*(Deb_Eq)^2			-0,0001*** (0,0000)	
In(PL)*In(PS)	-0,1046*** (0,0369)	-0,0680* (0,0378)	-0,0812** (0,0376)	-0,12834*** (0,0364)
In(PL)*In(PM)	-0,0244 (0,0370)	0,0005 (0,0358)	0,0565 (0,0365)	-0,0485 (0,0414)
In(PL)*In(PK)	0,0214 (0,0228)	0,0094 (0,0222)	-0,0031 (0,0204)	0,0137 (0,0235)
In(PL)*In(Volume)	0,1109*** (0,0339)	0,1560*** (0,0403)	0,1863*** (0,0393)	0,1103** (0,0436)
In(PL)*In(L_km)	-0,1539*** (0,0588)	-0,1937*** (0,0643)	-0,2059*** (0,0666)	-0,2108*** (0,0552)
In(PL)*Anni_residui_perc		0,0796*** (0,0237)	0,0850*** (0,0228)	
In(PL)*(Debito/Equity)			-0,0081 (0,0055)	
In(PS)*In(PM)	-0,0794*** (0,0190)	-0,0755*** (0,0183)	-0,0817*** (0,0184)	-0,0713*** (0,0194)
In(PS)*In(PK)	-0,0630*** (0,0077)	-0,0683*** (0,0077)	-0,0665*** (0,0089)	-0,0575*** (0,0077)
In(PS)*In(Volume)	-0,0993*** (0,0176)	-0,0946*** (0,0168)	-0,0987*** (0,0164)	-0,0944*** (0,0180)
In(PS)*In(L_km)	0,1131*** (0,0219)	0,0990*** (0,0210)	0,1058*** (0,0222)	0,1224*** (0,0230)
In(PS)*Anni_residui_perc		0,0061	0,0058	

ln(PS)*(Debito/Equity)		(0,0058)	(0,0059)	
			-0,0021*	
			(0,0011)	
ln(PM)*ln(PK)	-0,0335*** (0,0095)	-0,0368*** (0,0090)	-0,0386*** (0,0081)	-0,0324*** (0,0094)
ln(PM)*ln(Volume)	0,0946*** (0,0246)	0,0961*** (0,0232)	0,1099*** (0,0228)	0,0887*** (0,0242)
ln(PM)*ln(L_km)	-0,0955*** -0,0302	-0,0997*** -0,0286	-0,1148*** -0,0277	-0,0905*** -0,0301
ln(PM)*Anni_residui_perc		0,0038 (0,0080)	0,0048 (0,0083)	
ln(PM)*(Debito/Equity)			-0,0005 (0,0006)	
ln(PK)*ln(Volume)	-0,0507*** (0,0101)	-0,0517*** (0,0097)	-0,0543*** (0,0082)	-0,0517*** (0,0102)
ln(PK)*ln(L_km)	0,0709*** (0,0112)	0,0662*** (0,0106)	0,0665*** (0,0101)	0,0866*** (0,0116)
ln(PK)*Anni_residui_perc		-0,0132** (0,0056)	-0,0137*** (0,0052)	
ln(PK)*(Debito/Equity)			0,0011 (0,0013)	
ln(Volume)*ln(L_km)	-0,2138*** (0,0416)	-0,2019*** (0,0420)	-0,2112*** (0,0415)	-0,2318*** (0,0424)
ln(Volume)*Anni_residui_perc		0,0013 (0,0084)	0,0035 (0,0084)	
ln(Volume)*(Debito/Equity)			-0,0022 (0,0016)	
ln(L_km)*Anni_residui_perc		0,0051 (0,0088)	0,0035 (0,0090)	
ln(L_km)*(Debito/Equity)			0,0014 (0,0013)	
Costante	-0,1001** (0,0507)	-0,1034** (0,0513)	-0,1726*** (0,0579)	0,0483** (0,0239)
Time Dummy	No	No	No	Si
Numero osservazioni	183	183	180	183
Economie di scala	1,1713	1,1693	1,198	1,0919

I risultati confermano quanto già evidenziato. Le stime translogaritmiche permettono di stimare la dimensione ottimale di gestione delle tratte autostradali; attraverso l'analisi dell'andamento dell'elasticità di scala in funzione degli output è possibile infatti individuare la lunghezza che permette di sfruttare al massimo le efficienze strutturali.

Nella seguente tabella si riportano le efficienze strutturali in termini di economie di scala, determinate in corrispondenza dei percentili relativi ai volumi (espressi in milioni) e ai chilometri di rete ottenuti dalla normalizzazione rispetto ai valori mediani.

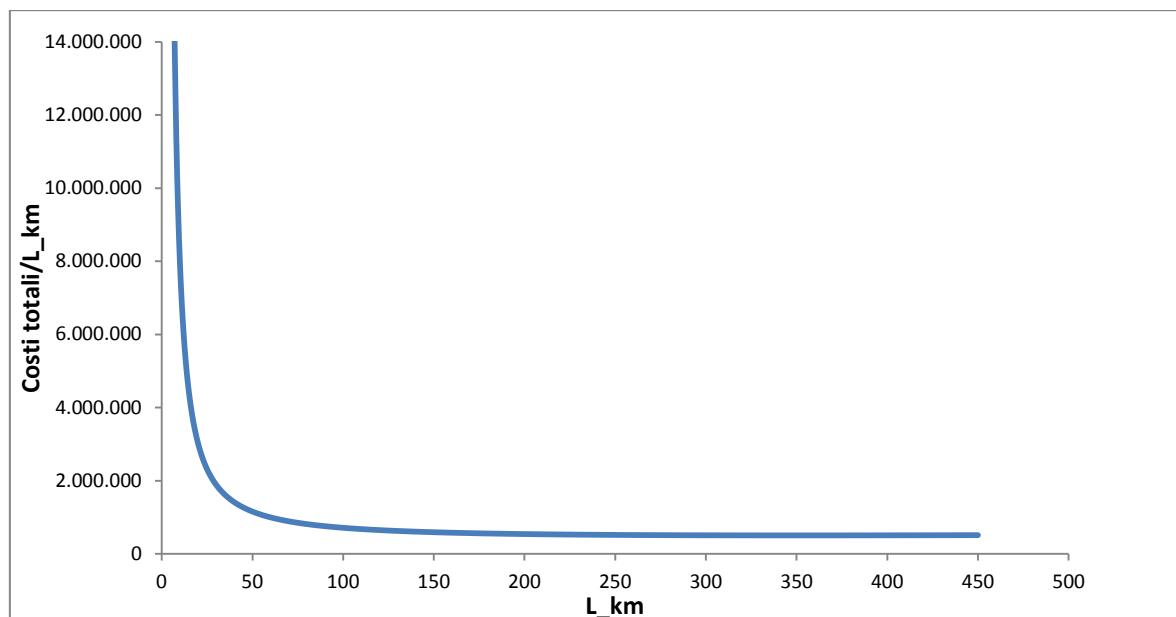
**Tabella 3 - Stime delle economie di scala**

Percentili	L_km	Vol (M)	ES
10th	27,00	108	1,32
25th	61,55	825	1,30
50th	113,30	1470	1,17
75th	182,45	2310	1,09
90th	281,45	4700	1,05
95th	314,08	5300	1,00
99th	2854,60	48100	0,78

I rendimenti di scala sono più alti per reti di lunghezza inferiore, con una rete di circa 20 km, e decrescono al crescere dei percentili. Esattamente al 95° percentile le economie di scala hanno valore unitario. Questo risultato permette di dedurre che per dimensioni significativamente inferiori a circa 315 km vi sono diseconomie di scala e che una crescita dimensionale fino a questa lunghezza della rete sarebbe auspicabile per accrescere l'efficienza produttiva del settore. Ammettendo un certo margine di tollerabilità, dalla Tabella 3 – unitamente alla figura sotto riportata – è possibile definire un intervallo di valori entro cui i guadagni di efficienza dovuti ad un aumento dimensionale appaiono più significativi. Tale intervallo è quello compreso tra il 75° e il 95° percentile della distribuzione riportata in Tabella 3, da cui emerge che la dimensione di rete necessaria per singola concessione, al fine di migliorarne strutturalmente l'efficienza produttiva, deve appartenere all'intervallo compreso tra i 180 ai 315 km.

Ne consegue che la dimensione minima di una concessione non dovrebbe essere inferiore ai 180 km. Oltre la soglia dimensionale massima (315 km) invece non si ravvedono miglioramenti di efficienza strutturale legati all'aumento dimensionale della concessione.

Per illustrare come l'andamento dell'efficienza strutturale varia in funzione dell'estesa chilometrica, si sono simulati i costi totali medi utilizzando la funzione translogaritmica [modello 1a, normalizzazione rispetto al prezzo del lavoro, tenendo le variabili e i prezzi dei fattori fissi al loro valore mediano].



La curva riportata sopra indica che i risparmi strutturali conseguibili da un aumento dell'estesa complessiva delle tratte autostradali gestite da un singolo concessionario sembrano esaurirsi nel *range* compreso tra 180 e 315 km. Oltre il valore di soglia massima pari a 315 km, non sembrano – quindi – esservi vantaggi per i concessionari in termini di guadagni strutturali di efficienza produttiva.