Efficacia delle Infrastrutture Pubbliche: Teoria e Tecniche per l'Analisi

Pietro Cova - UVER

20 Luglio 2004, Roma

Indice

1. Motivazioni generali alla base dello studio dell'efficacia delle infrastrutture pubbliche
2. Due approcci standard (APF e ACF) per l'analisi dell'efficacia
3. L'approccio ACF
   3.1 Analisi teorica
   3.2 Analisi empirica
   3.3 Impostazione dei dati oggetto dell'analisi
   3.4 Alcuni risultati da tenere presenti quali *benchmark*
   3.5 Vantaggi
   3.6 Critiche
4. Un approccio alternativo basato sull'economia spaziale e regionale
   4.1 Motivazioni principali alla base di un approccio alternativo
   4.2 Logica alla base dell'approccio (d'equilibrio) spaziale
   4.3 Analisi teorica
   4.4 Analisi empirica
   4.5 Vantaggi
   4.6 Critiche
5. Autocorrelazione spaziale e applicazione dell'approccio APF: L'effetto delle infrastrutture sull'economia regionale spagnola
6. Bibliografia per tipologia di analisi
   6.1 Approccio "Aggregate Production Function" (APF)
   6.2 Approccio "Aggregate Cost Function" (ACF)
   6.3 Approccio d'Equilibrio Spaziale
7. Appendice Tecnica

1 Motivazioni

- Effetti sul benessere della collettività:

1. Effetto indiretto attraverso il reddito: Un aumento del capitale pubblico porta ad una crescita della produttività che genera un aumento del reddito pro capite.

2. Effetti diretti, non-pecuniari, sul benessere delle famiglie attraverso benefici in termini di aumentate possibilità di consumo.

$\Longrightarrow$ 1. e 2. suggeriscono che il capitale pubblico ha un triplice valore per lo sviluppo economico di un paese:

a) Il valore in termini di consumo del capitale pubblico.

b) Il valore in termini di (maggiore) produttività del capitale pubblico.

c) Il valore in termini di "scelte di locazione" del capitale pubblico (i.e. la capacità di influenzare le scelte di locazione dei soggetti economici).

2 Due approcci standard per l'analisi dell'efficacia delle infrastrutture pubbliche

L'effetto indiretto è stato studiato seguendo due approcci:

1. Stimando la funzione di produzione dell'impresa rappresentativa (Aggregate Production Function Approach o APF). Vedi Aschauer (1989, Journal of Monetary Economics), Munnell (1992, Journal of Economic Perspectives).

2. Stimando la funzione di costo dell'impresa rappresentativa (Aggregate Cost Function Approach o ACF). Vedi Nadiri e Mamuneas (Review of Economics and Statistics, 1994), Berndt e Hansson (Scandanavian Journal of Economics, 1992), Morrison e Schwartz (American Economic Review, 1996).

3 L'approccio ACF

3.1 Analisi teorica (segue Morrison e Schwartz, 1996; Berndt e Hansson, 1992)

- La funzione dei costi variabili è descritta dalla funzione generica

$$G\left(x, p, t, Y\right) \tag{1}$$

dove x, p, t, Y indicano il vettore degli input "quasi-fissi", x_k, (capitale privato e pubblico), il vettore dei prezzi dei fattori variabili (lavoro, energia, beni intermedi), l'output e una variabile ('counter') temporale utilizzata quale proxy per la tecnologia.

- Una proprietà standard di $G\left(\bullet\right)$ fondamentale per applicare questo approccio all'analisi degli effetti delle infrastrutture sui costi (e sulla produttività) è la possibiltà di calcolare il "valore ombra" (o beneficio marginale) di ciascun input x_k nel seguente modo:

$$B_k = -\frac{\partial G}{\partial x_k} > 0 \tag{2}$$

dove B_k è pari al "beneficio" o valore marginale di x_k ed esprime la riduzione nei costi variabili sostenuti dall'impresa a seguito di un aumento unitario dello stock di un certo input.

- In equilibrio, nel lungo periodo, il beneficio marginale deve essere uguale al costo marginale (per gli stock di capitale, pubblico e privato):

$$x_k = x_k^* \Longleftrightarrow B_k = P_k \tag{3}$$

dove x_k^* corrisponde alla quantità ottimale di lungo periodo quando i benefici marginali sono uguali ai costi marginali.

- La funzione dei costi totali (con rendimenti di scala non costanti) è pari a

$$C = G + \Sigma_k p_k x_k \tag{4}$$

- Possiamo calcolare l'elasticità dei costi rispetto al progresso tecnologico:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{ct} &= \frac{\partial \ln C}{\partial t} + \frac{t}{C}\sum_j \left[\frac{\partial C}{\partial x_j}\frac{dx_j}{dt} + \frac{\partial C}{\partial p_j}\frac{dp_j}{dt}\right] \\ &\quad + \frac{t}{C}\sum_k \left[\frac{\partial C}{\partial K_p}\frac{dK_p}{dt} + \frac{\partial C}{\partial P_{Kp}}\frac{dP_{Kp}}{dt} + \frac{\partial C}{\partial K_g}\frac{dK_g}{dt}\right]\end{aligned}$$

$\Longrightarrow$

$$
\begin{aligned}
-\varepsilon_{Ct} &= -\varepsilon_{Ct}^{T} - (\varepsilon_{cy} - 1)\frac{\dot{Y}}{Y} - \varepsilon_{CKp}\frac{\dot{K}_p}{K_p} + s_{K_g}^{*}\frac{\dot{K}_g}{K_g} \qquad (5) \\
&= -\varepsilon_{Ct}^{T} - \left(\varepsilon_{cy}^{L} - 1\right)\frac{\dot{Y}}{Y} + \varepsilon_{CK_p}\varepsilon_{K_pY}\frac{\dot{Y}}{Y} - s_{K_g}^{*}\varepsilon_{K_gY}\frac{\dot{Y}}{Y} - \varepsilon_{CKp}\frac{\dot{K}_p}{K_p} + s_{K_g}^{*}\frac{\dot{K}_g}{K_g}
\end{aligned}
$$

dove $\varepsilon_{Ct}^{T} \equiv \frac{\partial \ln C}{\partial t}$ denota l'elasticità totale o effettiva o corretta dei costi rispetto al progresso tecnologico, $s_{K_g}^{*} = \frac{B_{K_g}K_g}{C}$ ($s_{K_g}^{*}$ denota la "quota ombra" di K_g sul totale dei costi) e in generale $\frac{dX/dt}{X} = \frac{d\ln X}{dt} = \frac{\dot{X}}{X}$, mentre ε_{xy} indica l'elasticità di x rispetto a y.

[Attenzione: sarebbe più corretto considerare $s_{K_g}^{*} = \frac{(B_{Kg} - P_{Kg})K_g}{C} = \varepsilon_{CK_g}$]

- A noi interessano i termini

$$K_gDIR = s_{K_g}^{*}\frac{\dot{K}_g}{K_g} \qquad (6)$$

$$K_gIND = -s_{K_g}^{*}\varepsilon_{K_gY}\frac{\dot{Y}}{Y} \qquad (7)$$

Se il tasso di crescita delle infrastrutture e' positivo, l'effetto *diretto* determina una crescita della produttivita' (misurata o osservabile da uno statistico, pari a ε_{Ct}) superiore rispetto a quella effettiva, pari a ε_{Ct}^{T}.

L'effetto *indiretto* comporta una crescita della produttività (stimata, ε_{Ct}) inferiore rispetto a quella effettiva.

$\Longrightarrow$ Il modo corretto per valutare il contributo delle infrastrutture pubbliche tiene pertanto conto del tasso di crescita delle infrastrutture rispetto a quello della produzione. Solo se il primo e' superiore al secondo, il contributo alla produttivita' delle infrastrutture sara' positivo.

3.2 Analisi empirica (segue Morrison e Schwartz, 1996; Berndt e Hansson, 1992)

- I costi variabili possono essere descritti dalla seguente funzione "generalizzata di Leontief":

$$\begin{aligned} G(Y,t,x,p) &= Y\left[\Sigma_i\Sigma_j\alpha_{ij}p_i^{.5}p_j^{.5}+\Sigma_i\Sigma_m\delta_{im}p_is_m^{.5}+\Sigma_ip_i\Sigma_m\Sigma_n\gamma_{mn}s_m^{.5}s_n^{.5}\right] \\ &\quad +Y^{.5}\left[\Sigma_i\Sigma_k\delta_{ik}p_ix_k^{.5}+\Sigma_ip_i\Sigma_m\Sigma_k\gamma_{mk}s_m^{.5}x_k^{.5}\right]+\Sigma_ip_i\Sigma_k\Sigma_l\gamma_{lk}x_k^{.5}x_l^{.5} \end{aligned} \quad (8)$$

dove x_k, x_l denotano i fattori quasi-fissi; p_i, p_j sono gli indici dei prezzi dei fattori variabili; s_m, s_n sono gli argomenti residui (Y,t) in $G(Y,t,x,p)$.

- Possiamo impostare e stimare (ad es. con i metodi "SUR", panel data) il seguente sistema di quattro equazioni:

$$\frac{v_i}{Y}=\frac{\partial G}{\partial p_i}\frac{1}{Y} \qquad (A)$$

dove $i = L, E, BI$ (lavoro, energia, beni intermedi)

$$p_Y = MC = \frac{\partial G}{\partial Y} \qquad (B)$$

L'equazione (A) descrive le relazioni tra input e output che determinano le quantità ottimali di input variabili (L, E, BI) [tali quantità si ottengono per semplice differenziazione della funzione dei costi variabili utilizzando il lemma di Shephard].

L'equazione (B) descrive il prezzo ottimo (che massimizza il profitto) nel breve periodo.

- Da queste equazioni e' possibile calcolare tutte le elasticita' e relazioni descritte nella sezione teorica. Ad esempio, l'elasticita' delle infrastrutture pubbliche rispetto alla produzione ε_{KgY} viene calcolata nel modo seguente:

$$\varepsilon_{KgY}=\frac{Y}{K_g}\frac{\partial K_g}{\partial Y}=\frac{Y}{K_g}\frac{\partial G}{\partial Y}\frac{\partial K_g}{\partial G}=\frac{Y}{K_g}\frac{\partial G}{\partial Y}\left(-\frac{1}{Z_{K_g}}\right)$$

Possiamo utilizzare $\varepsilon_{KgY}, s^*_{Kg}, \dot{K}_g/K_g$ e $\dot{Y}/Y$ per calcolare gli effetti diretti e indiretti delle infrastrutture (descritti sopra).

- Infine (vedi Berndt e Hansson) possiamo applicare l'equazione (3)per calcolare le quantità ottimali K_p^* e K_g^*. I quozienti K_p/K_p^* e K_g/K_g^* (e la loro dinamica nel tempo) possono essere interpretati per capire in che misura via siano eccessi (deficit) rispetto alle esigenze di ottimo per ciascun fattore quasi-fisso.

3.3 Impostazione dei dati oggetto dell'analisi

- Valutazione dello stock di capitale pubblico (metodo dell'inventario perpetuo; i tassi di deprezzamento variano a seconda della categoria di infrastruttura pubblica considerata).
- Distinzione tra capitale pubblico per infrastrutture e per ricerca e sviluppo.
- Necessità di tenere conto del tasso di utilizzazione dello stock di infrastrutture per misurare correttamente il valore (in termini di servizi realmente offerti/utilizzati) delle infrastrutture stesse.
- Conoscenza della produzione, degli input dei fattori "privati", dei prezzi dei fattori variabili a livello industriale (agricoltura, manifattura, ecc.) per regione.
- Classificazione delle infrastrutture pubbliche (distinte ad esempio in):
  - "Pure" ('core'): autostrade, aeroporti, strutture per il transito di massa, impianti per la produzione e fornitura di gas e elettricità, telecomunicazioni, impianti per la fornitura e gestione delle acque.
  - "Nette": Infrastrutture pure al netto degli impianti di generazione e distribuzione dell'elettricità (data la dimensione dell'energia relativamente alle altre tipologie di infrastrutture (circa 50% del totale) e dal momento che il settore privato paga per il consumo di elettricità).

3.4 Alcuni risultati da tenere presenti quali benchmark

- I risparmi in termini di minori input privati (lavoro, capitale e beni intermedi) a parità di output derivanti da investimenti in infrastrutture pubbliche sono di gran lunga superiori a quelli ottenibili da investimenti pubblici in ricerca e sviluppo [Nadiri e Mamuneas, 1994 (N&M)].
- Le elasticità (i risparmi in termini di input per un dato output) variano a seconda dell'industria manifatturiera considerata: oscillano (da -.1 a -.2, i.e. risparmi dal 10 al 20%) e sono maggiori per le imprese manifatturiere che producono beni durevoli (soprattutto relativamente ai risparmi in termini di capitale privato) [N&M] $\Longrightarrow$ esigenza di caratterizzare la struttura industriale e occupazionale regionale.
- Input privati e infrastrutture pubbliche/investimenti pubblici in ricerca e sviluppo sono complementari o sostituti [N&M]:
  - Aumenti nei servizi da infrastrutture pubbliche portano a risparmi di lavoro, capitale e ad aumenti nei consumi di beni intermedi.
  - Aumenti negli investimenti pubblici in ricerca e sviluppo portano a risparmi di beni intermedi e ad aumenti nei consumi di lavoro e di capitale.
- I "benefici marginali" derivanti da investimenti pubblici aggiuntivi sono inversamente proporzionali rispetto alla quota dello stock di capitale pubblico sul costo totale sostenuto in ciascuna industria [N&M].
- La quota di infrastrutture pubbliche rispetto allo stock di capitale privato è pari al 46% (nel 1987) negli U.S.A. [Munnell, 1990] e pari al 43% per la Svezia (1988) [Berndt e Hansson, 1992 (B&H)].
- La correlazione (1961-1988) tra crescita della produttività multi-fattore per il settore privato svedese e il tasso di crescita dello stock di infrastrutture pubbliche risulta pari allo 0.55 (0.65 se si calcola rispetto al tasso di crescita dello stock di capitale pubblico relativo all'anno precedente) [B&H].
- Un valore ritenuto attendibile per il rapporto tra le elasticità della produzione rispetto al fattore lavoro e al fattore capitale privato è di 3:1. (Gli approcci APF trovano invece rapporti 1:2) [B&H].
- Tre osservazioni sulle quantità ottimali di infrastrutture calcolate uguagliando benefici marginali a costi marginali (v. equazione (3)) [B&H]:
  - Se $x_k^*/x_k \lesseqgtr 1 \Longrightarrow$ eccesso/deficit di infrastrutture (o capitale privato) rispetto alle esigenze di ottimo.
  - x_k^* è da considerarsi una stima prudenziale che tiene solo conto dei benfici percepiti dalle imprese.
  - Le quantità ottimali possono essere utilizzate per calcolare il tasso di crescita "ottimale" della produttività rispetto a quello effettivo.

3.5 Vantaggi

- Consente di ottenere le equazioni da stimare dalla semplice differenziazione della funzione dei costi (es. la derivata della funzione dei costi rispetto ai prezzi dei fattori variabili esprime la quantità ottimale dei fattori variabili; v. l'equazione (A)).

- Si tiene conto di alcune "forze esogene" rispetto alle imprese:

1) Le economie di scala "esterne" (generate dalle infrastrutture pubbliche, che a loro volta possono determinare degli effetti (a) diretti e (b) indiretti).
2) Le economie di scala "interne" (a loro volta dovute a (a) economie di scala nel lungo periodo (rese possibili dalle nuove tecnologie) e (b) "invariabilità" di alcuni fattori produttivi nel breve periodo).

- Approccio "giustificato" dalla quota rilevante di capitale pubblico rispetto allo stock di capitale privato.

3.6 Critiche

- L'approccio ACF si basa sull'assunto che i prezzi dei fattori produttivi sono variabili esogene (rispetto ai fattori produttivi, variabili endogene). L'indipendenza dei prezzi può valere per la singola impresa competitiva, ma non descrive in modo soddisfacente il comportamento a livello regionale. Le singole regioni e aree metropolitane sono caratterizzate da complessi mercati dei fattori produttivi nei quali le imprese non considerano completamente esogeni i prezzi e/o le quantità.

- La moderna teoria dei costi si basa sul concetto di "dualità" (minimizzazione dei costi$\Leftrightarrow$massimizzazione del profitto) che si regge a sua volta sull'assunto di mercati dei fattori produttivi competitivi, rispetto ai quali l'impresa non ha alcun potere di mercato.

- Nel calcolare i benefici marginali generati dalle infrastrutture non si tiene conto dei costi sostenuti dalla collettività per garantire un certo stock e flusso di (nuove) infrastrutture.

- Non si tiene conto degli effetti indiretti (il valore delle infrastrutture per le famiglie) e degli effetti di *spill-over* determinati dalle infrastrutture (incidono sulla mobilità dei fattori produttivi).

- L'applicazione di questo metodo richiede la disponibilità di dati sui fattori di produzione (prezzi e quantità) a livello industriale e regionale (provinciale, ecc.).

4 Un approccio alternativo basato sull'economia spaziale e regionale

4.1 Motivazioni principali alla base di un approccio alternativo

1. Stima "veritiera" dei benefici marginali a livello nazionale richiede un'attenzione particolare al territorio e alle relazioni esistenti tra variabili territoriali.

2. La mobilità delle imprese è endogena rispetto alla disponibilità locale di infrastrutture pubbliche.

$\Longrightarrow$ 1. e 2. suggeriscono la necessità di:

- Utilizzare tecniche econometriche adeguate per le analisi di dati spaziali (econometria spaziale).

- Integrare il modello di comportamento dell'impresa rappresentativa con quello della famiglia rappresentativa per 'controllare' o tenere presenti le "relazioni spaziali" che esistono tra le regioni (i.e. la potenziale mobilità dei fattori produttivi tra le varie regioni).

4.2 Logica alla base dell'approccio (d'equilibrio) spaziale

1. Le aree geografiche che delimitano le regioni (o aree metropolitane) sono considerate entità fisiche, pre-determinate: l'area su cui si estendono le regioni costituisce un fattore produttivo fisso, il "territorio", con un prezzo endogeno che varia nello spazio (oltre che nel tempo).

2. Oltre al fattore territorio, vengono considerati anche i fattori capitale e lavoro: per il fattore capitale, si assume che l'offerta privata di capitale alle regioni sia perfettamente elastica ad un prezzo determinato a livello nazionale (esogeno). Per il fattore lavoro si assume che l'offerta di lavoro non sia né perfettamente elastica, né perfettamente anelastica. Pertanto sia i salari che l'offerta di lavoro sono variabili endogene a livello regionale.

3. La "teoria delle variazioni compensative" ('compensating variation literature') [Roback (1982), *Journal of Political Economy*; Rosen (1979)] assume che le regioni sono delle aree geografiche rispetto alle quali i) il tasso di profitto, e ii) il livello di utilità sono variabili esogene. In tal caso il valore (e la sua variazione nel tempo) dei "tratti regionali" che non hanno un prezzo di mercato e non sono commerciabili, quali il clima, lo stock di infrastrutture disponibile, ecc. viene interamente riflesso ('compensato') dai prezzi locali dei fattori produttivi.

$\Longrightarrow$ La corrispondenza tra prezzi regionali dei fattori produttivi e valore del capitale pubblico è coerente sia con (a) il concetto di equilibrio spaziale sia con

(b) il grado di mobilità che caratterizza le imprese e le famiglie sul territorio (analisi regionale).

$\Longrightarrow$ Un aspetto fondamentale per costruire un modello spaziale valido è quello di ipotizzare quali variabili (quali prezzi, quali quantità, ecc.) siano esogene rispetto alle regioni. Individuate queste variabili è lecito utilizzarle quali variabili esplicative (regressori) nell'analisi regionale dei prezzi locali dei fattori produttivi.

4.3 Analisi teorica (segue Haughwout, 2002; Rudd, 2000)

- Il modello prototipo dell'approccio territoriale sfrutta il concetto di dualità per descrivere il comportamento ottimo dell'impresa rappresentativa e della famiglia tipo:

  - Le condizioni di ottimo per l'impresa tipo implicano che il costo unitario di produzione uguagli i ricavi unitari (o che questi ultimi siano pari a un *mark-up* nei mercati oligopolistici):

$$c\left(W_j, R_j, G_j\right) = P_x \tag{9}$$

dove W_j sta per costo locale, nella regione j, del lavoro , R_j indica il prezzo locale dei terreni (intesi come edifici, capannoni, ecc.) e G_j misura lo stock di infrastrutture a livello locale. I ricavi unitari sono pari al prezzo P_x di vendita unitario del bene x venduto dall'impresa tipo. Si assume che questo prezzo sia esogeno rispetto all'impresa individuale, i.e. il prezzo viene determinato sul mercato del bene finale a livello nazionale e/o internazionale.

- - La condizione di ottimo per i consumatori evidenzia il livello di spesa ('expenditure') minima necessario per ottenere un livello di utilità o soddisfazione pari ad un *benchmark* stabilito a livello nazionale:

$$e\left(R_j, G_j, \bar{V}\right) = W_j \tag{10}$$

dove W_j è il salario o reddito d'equilibrio che consente di sostenere una spesa minima, e, sufficiente per percepire un'utilità "media" pari a $\bar{V}$. [L'equazione (59) è derivata assumendo che in equilibrio ciascuna famiglia percepisca lo stesso livello di utilità (indiretta) $\bar{V}$].

- Dalle condizioni di ottimo possiamo:

1. Calcolare i prezzi locali di equilibrio:

$$R_j^* = R\left(P_x, G_j, \bar{V}\right) \tag{11}$$

$$W_j^* = W\left(P_x, G_j, \bar{V}\right) \tag{12}$$

2. Calcolare i benefici marginali derivanti da unità addizionali di infrastrutture:

   (a) per le imprese (minori costi sostenuti a parità di profitto a seguito di un aumento nello stock di infrastrutture):

   $$B_i = -\frac{\partial c}{\partial G_j} = f\left(\frac{dW_j^*}{dG_j}, \frac{dR_j^*}{dG_j}, Z\right) > 0 \tag{13}$$

   (b) per le famiglie (risparmio di spesa a parità di utilità o livello di soddisfazione):

   $$B_f = -\frac{\partial e}{\partial G_j} = g\left(\frac{dW_j^*}{dG_j}, \frac{dR_j^*}{dG_j}, Z\right) > 0 \tag{14}$$

dove Z sta per variabili residue quali i livelli di occupazione, il terrirorio occupato ("domandato") dalle imprese e dalle famiglie.

- Possiamo infine calcolare gli impatti delle infrastrutture sulla produzione in funzione dei benefici marginali percepiti dalle imprese e dalle famiglie:

  $$\frac{\partial X_j^*}{\partial G_j} = h\left(B_i, B_f\right) \tag{15}$$

  $\Longrightarrow$ Questa equazione dimostra che seguendo l'approccio d'equilibrio territoriale un valore positivo

  $$\frac{\partial X_j^*}{\partial G_j} > 0$$

non costituisce "evidenza" che le infrastrutture siano "produttive" per l'impresa locale tipo, i.e. che $\frac{\partial c}{\partial G_j} < 0$, come invece sostenuto da molti studi che seguono un approccio aggregato incentrato solo sull'impresa. $\frac{\partial X_j^*}{\partial G_j}$ è una funzione complessa dei benefici marginali percepiti da imprese e famiglie. Un segno positivo di questa derivata parziale non garantisce che famiglie e imprese traggano entrambi beneficio da un aumento nello stock di infrastrutture pubbliche.

4.4 Analisi empirica (segue Haughwout, 2002; Rudd, 2000)

- Le equazioni che descrivono i prezzi locali di equilibrio (equazioni (11) e (12)) suggeriscono la stima, in una *prima fase*, delle seguenti equazioni:

$$LogHV_{i,j,t} = \alpha_1 HQ_{i,j,t} + \alpha_2 C_j T_t + \varepsilon_{i,j,t} \tag{16}$$

$$LogW_{i,j,t} = \beta_1 HQ_{i,j,t} + \beta_2 C_j T_t + \mu_{i,j,t} \tag{17}$$

dove i, j, t indicizzano le famiglie, le aree metropolitane e il periodo di tempo, HV sta per valore di un'abitazione, W indica il salario del capo famiglia, mentre HQ e HC sono vettori contenenti variabili che incidono sulla qualità di un'abitazione e del capitale umano. C_j e T_t sono variabili *dummy* per la città e per il periodo di tempo considerato. La loro interazione permette la stima degli effetti sui prezzi locali specifici a ciascuna città in un determinato periodo (effetti città-anno). $\varepsilon_{i,j,t}$ e $\mu_{i,j,t}$ sono "rumori bianchi" residui.

[Haughwout (2002) dispone, ad esempio, di informazioni su 37.503 famiglie in 33 città principali per 12 periodi di tempo ('cross sections')]

- Nella *seconda fase* della procedura di stima si cerca di quantificare in che misura le stime di $\hat{\alpha}_{2,j,t}$ e $\hat{\beta}_{2,j,t}$ siano determinate anche dalle infrastrutture pubbliche. A tal fine si stima il seguente sistema di equazioni simultanee:

$$\hat{\alpha}_{2,j,t} = \alpha_4 A_j + \alpha_5 LTS_{j,t} + \alpha_6 STS_{j,t} + \alpha_7 LG_{j,t} + \alpha_8 SG_{j,t} + \alpha_9 \hat{\beta}_{2,j,t} + \nu_{j,t} \tag{18}$$

$$\hat{\beta}_{2,j,t} = \beta_4 A_j + \beta_5 LTS_{j,t} + \beta_6 STS_{j,t} + \beta_7 LG_{j,t} + \beta_8 SG_{j,t} + \beta_9 \hat{\alpha}_{2,j,t} + \eta_{j,t} \tag{19}$$

dove i regressori misurano i tratti locali specifici a una certa area metropolitana (A_j), le aliquote in vigore in una certa area ($LTS_{j,t}$), i servizi offerti dal sistema fiscale locale ($STS_{j,t}$) e le disponibilità di infratsrutture e servizi locali ($LG_{j,t}$ e $SG_{j,t}$).

- Le stime di $\hat{\alpha}_7$ e $\hat{\beta}_7$ (misurano rispettivamente $\frac{dR_j}{dG_j}$ e $\frac{dW_j}{dG_j}$) vengono infine utilizzate per calcolare i benefici marginali (equazioni (13) e (14)) derivanti alle imprese e alle famiglie da aumenti dello stock di infrastrutture locali.

4.5 Vantaggi

L'approccio territoriale (o d'equilibrio spaziale o spaziale) costituisce un modo nuovo e alternativo rispetto agli approcci più tradizionali per l'analisi territoriale dell'efficacia delle infrastrutture pubbliche. Rispetto agli approcci tradizionali che si basano sulla funzione di produzione (APF) o dei costi (ACF) dell'impresa rappresentativa, i vantaggi principali dell'approccio spaziale sono i seguenti:

1. Si tiene specificatamente conto del fattore territorio. Questa impostazione ha un senso nella misura in cui il territorio abbia un valore strategico per le imprese (in termini di mercato di sbocco, capacità di approvvigionamento delle risorse fisiche e umane, ecc.) e per le famiglie (in termini di capacità di trovare un alloggio, lavoro, possibilità di istruzione, tempo libero, ecc.).

2. L'attenzione al territorio impone un particolare rigore metodologico: l'analisi dei dati territoriali deve tenere conto delle relazioni spaziali esistenti tra le variabili considerate.

3. Si cercano di evidenziare gli effetti delle infrastrutture pubbliche per le imprese rispetto a quelli per le famiglie. L'inclusione delle famiglie nell'approccio territoriale è motivata anche dai vantaggi enunciati sub (1.) (i.e. il territorio e le infrastrutture locali che influenzano i prezzi locali dei fattori possono generare dei benefici distinti per le famiglie e per le imprese) e sub (2.) (i.e. la mobilità delle imprese e, potenzialmente, delle famiglie sul territorio potrebbe falsare la valutazione degli effetti prodotti dalle infrastrutture sulla produzione aggregata territoriale).

4. Pur basandosi su un modello teorico, l'applicazione empirica di questo approccio è relativamente flessibile (ad es. nelle equazioni oggetto di stima i regressori sono dei vettori $HQ, HC, A, STS, ecc.$ il cui contenuto non è determinato a priori da alcuna teoria).

5. A differenza degli atri due approcci, non è necessario avere delle informazioni dettagliate su tutti i fattori produttivi privati (in particolare sul capitale privato) per applicare questo approccio. [Il capitale privato viene "eliminato" dall'analisi assumendo che la perfetta mobilità del capitale a livello territoriale determini un prezzo unico del capitale privato a livello territoriale, indipendente dai prezzi locali degli altri fattori produttivi e dallo stock di infrastrutture presente in un determinato territorio].

4.6 Critiche

Le critiche che possono essere mosse all'approccio spaziale sono strettamente collegate ai suoi vantaggi:

1. Non essendo vincolato da una struttura teorico-empirica rigida (quale ad esempio la teoria dei costi e le conseguenti implicazioni econometriche che ne derivano), l'approccio spaziale non offre dei punti di riferimento precisi rispetto agli approcci più tradizionali. Questi ultimi possono contare su raffronti con una moltitutidine di studi incentrati sul calcolo di alcune variabili standard, quali ad esempio l'elasticità.

2. Ad una chiara distinzione tra benefici percepiti dalle imprese e dalle famiglie non corrisponde una disaggregazione degli effetti delle infrastrutture per ciascuna di queste due categorie. L'approccio ACF mostra, ad esempio, quanto sia importante distinguere, per la sola impresa, tra gli effetti diretti e indiretti delle infrastrutture pubbliche sui costi di produzione (vedi le equazioni $(5), (6)$ e (7)).

3. La mancanza di un "corpus econometrico" ben definito (l'ACF si basa su certe tecniche econometriche standard) suggerisce l'importanza di approfondire lo studio delle tecniche spaziali per l'analisi dei dati territoriali, soprattutto per:

   (a) tenere conto degli effetti di *spill-over* che gli investimenti infrastrutturali adottati in un'area metropolitana possono esercitare su un'area suburbana e/o extra-urbana attigua. Riuscire a 'internalizzare' queste economie con delle tecniche econometriche spaziali dovrebbe fornire delle stime più accurate dell'efficacia delle infrastrutture [In particolare, sia Rudd (2000) che Haughwout (2002) ottengono delle stime statisticamente insignificanti dei coefficienti che misurano l'elasticità dei salari locali rispetto allo stock di infrastrutture].

   (b) valutare in che misura gli effetti di *spill-over* influenzino le modalità di finanziamento delle infrastrutture. La corretta valutazione (da un punto di vista) "sociale" di un investimento in infrastrutture pubbliche si dovrebbe basare sul raffronto tra i benefici marginali e il costo effettivamente sostenuto dalla collettività locale (e nazionale).

4. Si assume (questo vale per tutti gli approcci fin qui discussi) che lo stock corrente di infrastrutture esistente in una certa area sia esogeno. In realtà la disponibilità di un dato stock di infrastrutture è anche legata alla politica fiscale adottata nel territorio. Politica fiscale che può a sua volta contaminare le stime ottenute, se il livello di (e la struttura della) imposizione locale causa la correlazione tra capitale pubblico e prezzi locali dei fattori produttivi.

5. Seguendo questo approccio il rischio di omettere dalle equazioni da stimare delle variabili rilevanti (regressori) ai fini della bontà delle stime ottenibili è maggiore rispetto a quello che si sostiene con gli altri due approcci.

5 Moreno, Artìs, Lopez-Bazo and Surinach, "Evidence on the Complex Link between Infrastructure and Regional Growth", 1997

- Risultati principali:

  - L'associazione, positiva, tra capitale pubblico e produttività si riduce notevolmente quando si tiene conto con metodi di *panel data* degli effetti specifici ad ogni regione e specifici a ciascun periodo di tempo. Il settore industriale è quello che beneficia maggiormente da un aumentato dello stock di infrastrutture.
  - L'utilizzo della funzione Cobb-Douglas non cattura le possibili interazioni tra fattori produttivi. Viene utilizzato pertanto un metodo "ad espansione variabile" che tiene conto delle possibili interazioni tra i fattori. Questo metodo rivela:
    - l'assenza di un legame *diretto* tra produttività e infrastrutture pubbliche.
    - la presenza di un legame *indiretto* tra infrastrutture e crescita economica che dipende (a) dal livello dello stock di infrastrutture preesistenti (c.d. 'treshold effect') e (b) dalla distribuzione delle infrastrutture sul territorio rispetto alla distribuzione locale degli altri fattori produttivi privati (i.e. dal livello di sviluppo economico locale).
  - L'importanza della dimensione spaziale appare evidente per valutare correttamente l'impatto delle infrastrutture, a causa degli effetti di *spill-over*. La presenza di autocorrelazione spaziale nei dati territoriali invalida le procedure econometriche tradizionali.

- Gli investimenti infrastrutturali nelle regioni inserite nell'Obiettivo 1 ammontano al 35% della spesa totale dei Fondi Strutturali tra il 1989 e il 1993.

- Holtz-Eakin ["Public-sector capital and the productivity puzzle", *The Review of Economics and Statistics*, 1994] e Garcia-Mila et al. ["The effect of public capital in state-level production functions reconsidered", *The Review of Economics and Statistics*, 1996] correggono l'approccio APF tenendo conto delle caratteristiche specifiche alle singole regioni. Apportando queste modifiche trovano che il ruolo del capitale pubblico è pressochè nullo in termini di aumentata produttività.

- A livello teorico gli studi di Martin e Rogers ["Industrial location and public infrastructure", *Journal of International Economics*, 1995] e Holtz-Eakin e Lovely ["Scale economies, returns to variety, and the productivity of public infrastructure", *Regional Science and Urban Economics*, 1996] sostengono che le infrastrutture hanno solo effetti *indiretti* sulla crescita economica: utilizzando dei modelli di equilibrio economico generale (alla Krugman) evidenziano che le infrastrutture contribuiscono ad aumentare il numero e la varietà di imprese manifatturiere. In tal senso il ruolo principale delle infrastrutture consiste nel migliorare l'attrattività per le imprese di una certa locazione. Inoltre, è fondamentale distinguere tra infrastrutture domestiche (locali) e internazionali (nazionali). Solo le prime aumentano l'attrattività del territorio favorendo la convergenza delle regioni più arretrate. Le seconde favoriscono, almeno in una prima fase, l'agglomerazione delle attività industriali nelle regioni più avanzate dotate di migliori infrastrutture, mercati di sbocco e legami tra imprese operanti nello stesso settore (economie di opportunità e di scala). Pertanto in una prima fase gli investimenti infrastrutturali possono peggiorare il processo di convergenza economica e aumentare le disparità tra regioni (v. Krugman e Venables, QJE). Ad esempio, i treni ad alta velocità e lo sviluppo della rete autostradale spagnola hanno facilitato l'accesso alle regioni centrali più sviluppate, accentuando il divario con le regioni più svantaggiate. La *deregulation* del traffico aereo a livello comunitario ha rafforzato la posizione competitiva dei principali *hubs* e delle città dove questi si trovano.

- Aspetti metodologici:

  - Gli autori distinguono tra (a) capitale pubblico di base (autostrade, ferrovie, porti e segnalazioni marittime, impianti per la gestione delle acque e per la depurazione, strutture urbane) e (b) capitale pubblico sociale (sanità e ospedali).
  - Considerando l'eterogeneità dimensionale delle regioni spagnole, gli autori adottano una misura per metro quadrato delle infrastrutture di base e una misura pro capite per il capitale pubblico sociale. I risultati econometrici ottenuti sono robusti rispetto a specificazioni alternative in valore assoluto delle infrastrutture.
  - Vengono utilizzati i metodi propri della *panel data analysis* che consentono (i) di tenere conto delle caratteristiche specifiche ad ogni regione, variabili non direttamente osservabili, (le quali possono essere modellate utilizzando costanti diverse per le equazioni corrispondenti a ciascuna regione ('fixed effects') o includendole nell'errore specifico a ciascuna equazione ('random effects')) e (ii) di tenere conto degli effetti specifici legati al particolare periodo temporale. Questi ultimi vengono inclusi nel termine di errore e rappresentano gli effetti ciclici e i cambiamenti tecnologici che si verificano nel corso del tempo e che interessano tutte le regioni. In tal caso si introduce della correlazione tra gli errori (eteroschedasticità) e si utilizza il metodo dei minimi quadrati generalizzato (GLS) per depurare gli errori.
  - Il vantaggio delle tecniche di *panel data* sta nella possibilità di tenere conto delle caratteristiche di ogni regione. Le analisi che non tengono

specificatamente delle caratteristiche regionali specifiche rischiano di fornire delle stime sulla correlazione tra crescita e infrastrutture inficiate da correlazione spuria.

  – Gli autori stimano gli effetti produttivi delle infrastrutture utilizzando sia una funzione di produzione Cobb-Douglas (introducendo il capitale pubblico quale uno dei fattori produttivi oltre al fattore lavoro e al capitale privato; v. le equazioni (1)-(5)) sia una funzione che tiene conto delle possibili interazioni tra fattori ("metodo dell'espansione variabile"; v. le equazioni (6)-(9)).

- Risultati dell'analisi econometrica:
  – Il capitale sociale pubblico ha un impatto nullo sulla produttività. Il capitale pubblico di base ha un impatto statisticamente significativo, ma molto esiguo (ad un aumento di 1% del capitale di base corrsiponde un aumento della produttività del lavoro dello 0.044%).
  – Le infrastrutture pubbliche di base generano delle economie esterne. Questo risultato è corroborato da due risultati statistici: (i) in generale non è possibile respingere l'ipotesi di rendimenti di scala costanti quando si tiene conto di tutti i fattori produttivi (privati e pubblici); (ii) al netto del coefficiente che premoltiplica le infrastrutture pubbliche di base la somma degli altri due coefficienti (quelli che premoltiplicano il fattore lavoro e il capitale privato, i.e. gli *share* dei fattori lavoro e capitale privato) è inferiore all'unità.
  – Le elasticità dell'output rispetto ai fattori privati lavoro e capitale (gli *share*) sono rispettivamante pari a 0,45 e 0,5. Questi valori sono "inusuali" rispetto a quelli standard riportati dagli studi americani pari a 0,3 e 0,6. A giudizio degli autori queste marcate differenze sono dovute al processo di modernizzazione che ha caratterizzato la Spagna nel periodo considerato (1964-91). Tale processo ha determinato un costante aumento dello stock di capitale privato e una riduzione dello *share* di lavoro con un conseguente aumento della produttività del lavoro.
  – La stima della funzione di produzione a livello settoriale (agricoltura, industria, servizi e costruzioni) rivela che le infrastrutture di base hanno un effetto produttivo maggiore nei settori industria (0,07-0,10) e servizi (0,03-0,04).

- Interpretazione dei risultati econometrici:
  – Le infrastrutture pubbliche di base hanno migliorato l'accesso delle imprese ai mercati di sbocco e dei fattori e hanno reso possibile delle riduzioni nei costi di produzione sostenuti dalle imprese. In tal senso la presenza di uno stock crescente di infrastrutture pubbliche è una condizione necessaria per lo sviluppo economico.

– Tuttavia, gli effetti prodotti dalle infrastrutture sono solo *indiretti*, legati alle variazioni dei fattori privati che queste inducono. Le variazioni indotte (da aumenti nello stock di capitale di base) dei fattori produttivi privati sono dovute agli "effetti di agglomerazione" (che determinano delle interazioni dinamiche e spaziali sul territorio) e agli "effetti treshold" (legati al livello dello stock territoriale di infrastrutture rispetto alle esigenze locali, i.e. rispetto alla struttura industriale locale o ai livelli locali dei fattori privati). Questi due effetti sono strettamente collegati tra loro.

– I risultati econometrici ottenuti dal "metodo ad espansione variabile" confermano il legame indiretto (in particolare degli *effetti di agglomerazione*) esistente tra produzione e infrastrutture. Tale metodo consente di tenere conto sia degli effetti diretti di ciascun fattore produttivo (privato e pubblico) sulla produzione (misurati dai coefficienti singoli nell'equazione (9)) che delle possibili interazioni tra fattori (misurate dai coefficienti espressi in termini dei prodotti dei parametri) e delle economie di scala generate dai singoli fattori (misurate dal quadrato dei coefficienti). [A mio giudizio i risultati di tale metodo, riportati nella tabella 3, sono molto dubbiosi. Quasi nessuno dei coefficienti (semplici, al quadrato, prodotti incrociati) è statisticamente significativo. Tuttavia l'R^2 è molto elevata (0.971) e sia l'LM-test che il test di Hausman respingono l'ipotesi nulla di non significatività di tutti i coefficienti. Nessun coefficiente è singolarmente significativo, ma congiuntamente sono tutti statisticamente significativi. Questo potrebbe confermare la tesi sostenuta dagli autori di un link "complesso" tra infrastrutture e crescita regionale dovuto agli effetti indiretti sopra descritti.]

– Un'altra conferma del legame indiretto (in particolare dell'*effetto 'treshold'*) esistente tra produzione e infrastrutture deriva dalla correlazione positiva esitente tra l'elasticità della produzione regionale rispetto alle infrastrutture di base e il livello dello stock di infrastrutture esistenti in ciascuna regione: in presenza di un effetto di *treshold*, un aumento dello stock di infrastrutture pubbliche porta ad un aumento della produttività locale laddove il livello di congestione e il tasso di sviluppo locale sono più elevati. Esiste pertanto un circolo virtuoso tra sviluppo regionale e stock di infrastrutture (un effetto di agglomerazione) e solo al raggiungere del *treshold* subentrano dei rendimenti di scala decrescenti. [Questo effetto *treshold* è molto simile all'effetto indiretto individuato da Morrison e Schwartz: il tasso di crescita delle infrastrutture deve tenere il passo con il tasso di crescita della produzione locale]. I risultati regionali individuati dagli autori sono molto istruttivi:

  ∗ Il raffronto tra elasticità (asse verticale) e stock di capitale pubblico (asse orizzontale) dimostra che le regioni di Madrid e dei Paesi Baschi hanno mantenuto dal 1964 al 1991 elevate elasticità e elevati stock di capitale pubblico. Queste regioni sono le più industrializzate e hanno beneficiato al massimo dell'elevato stock di capitale pubblico di cui sono state via via dotate.

* Altre regioni (Castilla-Leon, Castilla-Mancha, Extremadura e Andalucia) hanno mantenuto basse elasticità a fronte di stock di capitale pubblico relativamente bassi. Queste regioni sono le più arretrate e sebbene dotate nel tempo di maggiori infrastrutture non hanno saputo combinarle con un adeguato mix industriale, con il capitale umano locale, con la cultura imprenditoriale locale e per creare dei collegamenti con le aeree più dinamiche.
* Infine un gruppo di regioni residue (Murcia, Rioja, Baleares) evidenziano elevate elasticità a fronte di stock di capitale pubblico relativamente bassi. In queste regioni, a giudizio degli autori, una maggiore dotazione di infrastrutture pubbliche sarà in grado di promuovere o "accomodare" i processi spaziali di sviluppo economico che contraddistinguono queste aree.
* Pertanto, sebbene saremmo intuitivamente portati a pensare a una associazione negativa tra elasticità produttiva rispetto alle infrastrutture e stock di capitale pubblico (sintomo di rendimenti marginali del capitale pubblico decrescenti), la presenza di una correlazione positiva suggerisce l'importanza degli effetti indiretti (di agglomerazione e di *treshold*) esercitati dalle infrastrutture pubbliche sulla produzione regionale. Le politiche degli investimenti pubblici hanno degli effetti territoriali completamente dipendenti dalla distribuzione locale delle infrastrutture rispetto agli altri fattori produttivi presenti sul territorio, i.e. rispetto alle esigenze (dinamiche) della struttura industriale locale. Un'analisi econometrica che tiene correttamente conto delle specificità (industriali) locali difficilmente troverà un legame tra crescita e infrastrutture maggiore rispetto a uno studio che non tiene conto di tali specificità territoriali.

- L'analisi spaziale:
  - La caratteristica di *network* di molte infrastrutture pubbliche accresce le interrelazioni tra regioni e ha delle precise implicazioni sia a livello politico che a livello econometrico:
    * Da un punto di vista politico se lo stock di capitale pubblico in una determinata regione influenza lo sviluppo delle regioni limitrofe sarà necessario indirizzare gli investimenti pubblici e i sussidi alla produzione in modo da rafforzare i legami commerciali esistenti. Inoltre, se questi effetti di *spill-over* sono significativi le singole regioni non saranno in grado di fornire autonomamente lo stock di capitale pubblico ottimale (problema delle esternalità positive e del fallimento del mercato). L'autorità centrale, in

grado di internalizzare queste esternalità, deve assumersi il compito di fornire le "quantità ottimali" di infrastrutture con caratteristiche di network.

  * Da un punto di vista econometrico gli effetti di *spill-over* determinano una dipendenza spaziale tra i dati territoriali (o 'cross-section'). Un processo di dipendenza spaziale si caratterizza per l'esistenza di una relazione funzionale tra quello che succede in un punto dello spazio e quello che accade sul resto del territorio. A differenza della dipendenza temporale che è sempre unidirezionale (il presente è spiegato dal passato), la dipendenza spaziale è multidirezionale (dal momento che il valore di una variabile è spiegato dai valori assunti da questa in luoghi differenti). Il problema principale causato dalla presenza di un processo di autocorrelazione spaziale nei dati è dovuto all'invalidamento delle tecniche econometriche standard:
    · Se la dipendenza spaziale origina dalla variabile endogena, le stime ottenute con il metodo dei minimi quadrati (MQ) sono *biased* e inconsistenti. Se la dipendenza spaziale deriva dall'errore, le stime ottenute con MQ potrebbero essere inefficienti e determinare una sottostima (*underestimation*) dell'errore e della varianza dei parametri, invalidando i risultati di inferenza statistica (le statistiche t).

- Gli autori utilizzano vari test uni- e multivariati per verificare la presenza di processi di dipendenza spaziale nei dati regionali spagnoli (descritti nell'appendice 1). Un'autocorrelazione spaziale *positiva* indica una caratteristica/variabile spazialmente concentrata, mentre un'autocorrelazione spaziale *negativa* denota una caratteristica/variabile disseminata nello spazio. Più in generale i test (l'ipotesi nulla è l'indipendenza spaziale) servono per stabilire la distribuzione spaziale di una variabile sia a livello globale che a livello locale utilizzando una "matrice dei pesi" costruita per soppesare la contiguità geografica regionale (sui criteri da seguire per costruire questa matrice vi sono punti di vista alquanto diversi):
  * La dipendenza spaziale *globale* definisce se una variabile è concentrata o dispersa sul territorio.
  * La dipendenza spaziale *locale* verifica l'esistenza di *cluster* spaziali locali tra i quali la variabile analizzata non è distribuita in maniera randomica.

- I risultati econometrici ottenuti dagli autori evidenziano la presenza di dipendenza spaziale globale per il solo capitale pubblico sociale e locale per entrambe le tipologie di capitale pubblico (di base e sociale). Quest'ultima distribuzione territoriale non randomica dei dati regionali denota l'esistenza di importanti collegamenti e interrelazioni territoriali. In generale, il capitale pubblico (in particolare quello di base) è concentrato prevalentemente nelle zone che hanno sostenuto tassi di sviluppo economico più elevati nel corso del periodo oggetto dello studio (1964-1991; Madrid e Pais Vasco). Questo risultato conferma quanto evidenziato dalla correlazione positiva tra elasticità della produzione regionale rispetto alle infrastrutture di base e il livello dello stock di infrastrutture esistenti in ciascuna regione.

  - La presenza di autocorrelazione spaziale nei residui (gli errori) delle equazioni derivate dalla funzione di produzione Cobb-Douglas, suggersice l'importanza di utilizzare le tecniche econometriche spaziali per stimare correttamente i legami tra sviluppo e infrastrutture.
  - Riassumendo gli autori confermano la presenza di dipendenza spaziale nei residui, utilizzando le statistiche di Moran e del Lagrange Multiplier, mentre non sono in grado di respingere l'ipotesi nulla di indipendenza spaziale della variabile endogena con il Lagrange Multiplier test. (v. p. 23)

- Conclusioni:
  - Il link infrastrutture-crescita è complesso per una serie di motivi che dipendono:
    * dal livello di sviluppo regionale e settoriale;
    * dal livello dello stock di infrastrutture che hanno una caratteristica di *network*;
    * dalla presenza di interdipendenze (commerciali) tra le regioni.
  - L'effetto in termini di produzione delle infrastrutture è maggiore nelle aree industriali inserite in economie caratterizzate da elevata agglomerazione che possono sfruttare al meglio le caratteristiche di *network* delle infrastrutture.
  - La caratteristica di *network* delle infrastrutture implica la presenza di autocorrelazione spaziale nei dati territoriali, rendendo necessario il ricorso a tecniche econometriche spaziali.
  - L'importanza strategica delle infrastrutture di base per il settore industriale suggerisce di studiare gli effetti delle infrastrutture a livello disaggregato per capire quali settori industriali traggono maggiori benefici da quali tipologie di interventi infrastrutturali. Canning (2003) evidenzia, ad esempio, che le infrastrutture telefoniche hanno degli effetti maggiori (una produttività marginale maggiore) rispetto a quelle destinate alla generazione di energia elettrica e alle reti di trasporto. Queste infrastrutture telefoniche hanno a loro volta delle ricadute importanti sul settore dei servizi (in particolare su quello *high-tech*) difficilmente quantificabili.
  - I risultati di questo studio sulle regioni spagnole confermano che le infrastrutture pubbliche sono un requisito indispensabile (condizione

necessaria) per lo sviluppo regionale. A differenza di quanto evidenziato da altri studi, il contributo delle infrastrutture allo sviluppo non è tuttavia diretto o indipendente dal contesto economico-territoriale.

- Tre spunti per la ricerca sul rapporto sviluppo-infrastrutture emergono:
  * La costruzione di modelli formali per rendere più intelligibili i rapporti microeconomici tra infrastrutture e sviluppo evidenziati dal presente studio. Particolarmente interessanti sono i legami tra capitale pubblico e dinamica (tassi di natalità e mortalità) delle imprese.
  * Uno studio approfondito degli effetti delle infrastrutture sulle imprese manifatturiere per capire in che modo il capitale pubblico sia in grado di influenzare il processo di industrializzazione regionale sia da un punto di vista quantitativo-dinamico (numero delle imprese nel tempo) che da un punto di vista qualitatitivo-dinamco (varietà dei manufatti al passo con i tempi, i.e. con le esigenze di mercato).
  * L'attribuzione ai fattori geografici e spaziali di una maggiore importanza nell'analisi emprica utilizzando le tecniche econometriche spaziali, in grado di tenere conto correttamente degli effetti di *spill-over* (e delle esternalità interregionali).

6 Bibliografia per tipologia di analisi

6.1 Approccio "Aggregate Production Function" (APF)

Aschauer, David A. (1989), "Is Public Expenditure Productive?", *Journal of Monetary Economics*, 23:2, 177-200.

Canning, David (2003), "The Contribution of Infrastructure to Aggregate Output", The Queen's University at Belfast, unpublished Working Paper.

Munnell, Alicia H. (1990a), "Why Has Productivity Growth Declined? Productivity and Public Investment", *New England Economic Review*, Federal Reserve Bank of Boston, January/February, 3-22.

Munnell, Alicia H. (1990b), "How Does Public Infrastructure Affect Regional Economic Performance?", *New England Economic Review*, Federal Reserve Bank of Boston, September/October, 11-32.

Munnell, Alicia H. (1992), "Policy Watch: Infrastructure Investment and Economic Growth", *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 6, No. 4, pp.189-198.

6.2 Approccio "Aggregate Cost Function" (ACF)

Berndt, Ernst R. e Bengt Hansson (1992), "Measuring the Contribution of Public Infrastructure Capital in Sweden", *Scandanavian Journal of Economics,* Volume 94, Supplement 1992, pp. 151-168.

Morrison, Catherine J. e Amy E. Schwartz (1996), "State Infrastructure and Productive Performance", *American Economic Review*, Vol. 86, No. 5 (December): 1095-1111.

Nadiri, M. Ishaq e Theofanis P. Mamuneas (1994), "The Effects of Public Infrastructure and R&D Capital on the Cost Structure and Performance of U.S. Manufacturing Industries", *Review of Economics and Statistics*, vol. 76, No. 1: 22-37.

6.3 Approccio d'Equilibrio Spaziale

Haughwout, Andrew (2002), "Public Infrastructure Investments, Productivity and Welfare in Fixed Geographic Areas", *Journal of Public Economics,* Vol. 83, (March), pp. 405-425.

Roback, J. (1982), "Wages, Rents, and the Quality of Life", *Journal of Political Economy*, Vol. 90, pp. 1257-1278.

Rosen, J. (1979), "Wage-Based Indexes and the Quality of Life", in P. Mieszkowsky and M. Straszheim, eds., *Current Issues in Urban Economics*, Baltimore: Johns Hopkins Press.

Rudd, Jeremy B. (2000), "Assessing the Productivity of Public Capital with a Locational Equilibrium Model", Board of Governors of the Federal Reserve System, Finance and Economics Discussion Series no. 2000-23.

Moreno, R., M. Artís, E. López-Bazo, and J. Suriñach (1997), "Evidence on the complex link between infrastructure and regional growth", *International Journal of Development Planning Literature*, 12(1&2), 81-108.

Moreno, Rosina e Enrique Lopez-Bazo (2003), "The Impact of Infrastructure on Regional Economic Growth: Some Results on its Spillover Effects", Working Paper, Grup dAnàlisi Quantitativa Regional (AQR Research Group),Universitat de Barcelona, (June).

LeSage, James P. (1998), Spatial Econometrics, Department of Economics, University of Toledo, available at http://www.spatial-econometrics.com/

7 Appendice Tecnica

7.1 Berndt e Hansson (1992): "Measuring the Contribution of Public Infrastructure Capital in Sweden"

La funzione dei costi totali adottata dagli autori ha la seguente forma generica:

$$C = g\left(Q, p, K_i, t\right) \tag{20}$$

dove Q, p, K_i e t indicano rispettivamente la produzione, i prezzi degli input, lo stock di capitale pubblico e il livello del progresso tecnologico.

La funzione dei costi variabili considerata dagli autori, nella sua forma più generica, può essere espressa come:

$$C_v = h\left(Q, p_v, K_p, K_i, t\right) \tag{21}$$

dove p_v, K_p indicano il vettore dei prezzi dei fattori variabili e lo stock di capitale privato.

Il "valore ombra" dello stock di infrastrutture pubbliche relativo alla funzione del costo totale (20) è pari a:

$$B_i = -\partial C / \partial K_i > 0 \tag{22}$$

Rispetto alla funzione del costo variabile (21) il valore ombra corrisponde a:

$$B_{vi} = -\partial C_v / \partial K_i > 0 \tag{23}$$

Allo stesso modo possiamo definire:

$$B_{vp} = -\partial C_v / \partial K_p > 0 \tag{24}$$

In equilibrio, nel lungo periodo, il beneficio marginale deve essere uguale al costo marginale per entrambi gli stock di capitale:

$$K_p = K_p^* \Longleftrightarrow B_{vp} = PK_p \tag{25}$$

$$K_i = K_i^* \Longleftrightarrow B_{is} = PK_i \tag{26}$$

dove K_p^* e K_i^* corrispondono alle quantità ottimali di lungo periodo quando i benefici marginali sono uguali ai costi marginali.

La quantità ottimale di ciascun fattore variabile può essere ottenuta da (applicando Shephard's Lemma):

$$x_v = \partial C_v / \partial p_v \tag{27}$$

La funzione considerata ai fini dell'analisi empirica per esprimere l'input del fattore lavoro corrisponde a:

$$\begin{aligned} L \;=\;& \beta_L + \beta_Q Q + \beta_{tQ} tQ + \beta_{QQ} Q^2 + \beta_p K_p + \beta_i K_i + \beta_{pQ} K_p Q \\ & + \beta_{iQ} K_i Q + \beta_{pi} K_p K_i / Q + .5 \beta_{pp} K_p^2 / Q + .5 \beta_{ii} K_i^2 / Q \end{aligned} \tag{28}$$

Il costo variabile corriponde in tal caso a $P_L L$ (vedi la nota al termine di questa sezione).

Utilizzando (25) e (26) possiamo calcolare le quantità ottime dei fattori

$$K_p^* = -\frac{Q}{\beta_{pp}J}\left[\frac{PK_p}{P_L} + \beta_p + \beta_{pQ}Q - \left(\frac{\beta_{pi}}{\beta_{ii}}\right)\left(\frac{PK_i}{P_L} + \beta_i + \beta_{iQ}Q\right)\right] \tag{29}$$

$$K_i^* = -\frac{Q}{\beta_{ii}J}\left[\frac{PK_i}{P_L} + \beta_i + \beta_{iQ}Q - \left(\frac{\beta_{pi}}{\beta_{pp}}\right)\left(\frac{PK_p}{P_L} + \beta_p + \beta_{pQ}Q\right)\right] \tag{30}$$

dove

$$J \equiv 1 - \left[\beta_{pi}^2 / \left(\beta_{pp}\beta_{ii}\right)\right]$$

N.B. La funzione (28) viene utilizzata dagli autori quando utilizzano il valore aggiunto quale 'proxy' per la produzione del settore privato svedese (comprendente il settore agricolo, minerario, manifatturiero, edile, commerciale, ecc.). In tal caso il solo input variabile è rappresentato dal fattore lavoro (in quanto il valore aggiunto coincide con gli impieghi finali e si può ottenere per differenza tra totale delle risorse (o produzione totale) e totale dei costi intermedi). Quando la produzione manifatturiera viene approssimata calcolando la produzione lorda (vendite più variazioni nette delle rimanenze, depurate dall'inflazione) gli autori ricorrono a una funzione dei costi più complessa (della forma 'general Leontief'; v. l'equazione (22) a pag. 20 dello studio).

7.2 Morrison e Schwartz (1996): "State Infrastructure and Productive Performance"

7.2.1 Modello Teorico

La funzione dei costi variabili è descritta da

$$G\left(x, p, t, Y\right) \tag{31}$$

dove x, p, t, Y indicano il vettore degli input quasi-fissi, x_k, (capitale privato e pubblico), il vettore dei prezzi dei fattori variabili (lavoro addetto alla produzione, non addetto alla produzione e energia), l'output e una variabile (counter) temporale utilizzata quale proxy per la tecnologia.

Una proprietà standard di $G\left(\bullet\right)$ fondamentale per applicare questo approccio (incentrato sui costi di produzione) all'analisi degli effetti delle infrastrutture sui costi e sulla produttività è la possibiltà di calcolare il "valore ombra" (o beneficio marginale) di ciascun input x_k nel seguente modo:

$$Z_k = -\frac{\partial G}{\partial x_k} \tag{32}$$

dove Z_k è pari al valore marginale di x_k ed esprime la riduzione nei costi variabili sostenuti dall'impresa a seguito di un aumento unitario dello stock di un certo input.

La funzione dei costi totali (con rendimenti di scala non costanti) è pari a

$$C = G + \Sigma_k p_k x_k \tag{33}$$

Pertanto l'elasticità di lungo periodo dei costi rispetto alla produzione puo' essere calcolata nel modo seguente

$$\varepsilon_{CY}^{L} = \frac{Y}{C}\left[\frac{\partial C}{\partial Y} + \Sigma_k \frac{\partial C}{\partial x_k}\frac{dx_k}{dY}\right] = \varepsilon_{CY} + \Sigma_k \varepsilon_{Ck}\varepsilon_{kY} \tag{34}$$

Possiamo anche riesprimere (34) in termini di elasticita' di breve periodo

$$\varepsilon_{CY} = \varepsilon_{CY}^{L} - \Sigma_k \varepsilon_{Ck}\varepsilon_{kY} = \varepsilon_{CY}^{L} - \varepsilon_{CK_p}\varepsilon_{K_pY} - \varepsilon_{CK_g}\varepsilon_{K_gY} \tag{2'}$$

Assumendo, come in molti altri studi, che vi sono rendimenti di scala costanti e che tutti i fattori sono variabili:

$$C = \Sigma_j p_j v_j = \Sigma_k p_k x_k = Y c\,(p,t) \tag{35}$$

L'elasticità rispetto al progresso tecnologico in questo caso particolare è pari a

$$\varepsilon_{ct} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln t} + \frac{t}{C}\left[\frac{\partial C}{\partial x_k}\frac{dx_k}{dt} + \frac{\partial C}{\partial p_k}\frac{dp_k}{dt}\right] \tag{36}$$

$\Longrightarrow$

$$\frac{\partial \ln C}{\partial \ln t} = \varepsilon_{ct} - \frac{t}{C}\left[\frac{\partial C}{\partial x_k}\frac{dx_k}{dt} + \frac{\partial C}{\partial p_k}\frac{dp_k}{dt}\right]$$

$\Longrightarrow$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \ln C}{\partial \ln t} &= \frac{dC/dt}{C} - \sum_k \frac{x_k p_k}{C}\frac{dp_k/dt}{p_k}\frac{\partial C}{\partial p_k}\frac{1}{x_k} \\
&\quad - \sum_k \frac{x_k p_k}{C}\frac{dx_k/dt}{x_k}\frac{\partial C}{\partial x_k}\frac{1}{p_k} \\
&= \frac{dC/dt}{C} - \sum_k \frac{x_k p_k}{C}\frac{dp_k/dt}{p_k} - \sum_k \frac{x_k p_k}{C}\frac{dx_k/dt}{x_k} \\
&= \frac{dC/dt}{C} - \sum_k \frac{x_k p_k}{C}\frac{dp_k/dt}{p_k} - \frac{C}{C}\frac{dY/dt}{Y} \\
&= \frac{\dot{C}}{C} - \sum_j s_j \frac{dp_j/dt}{p_j} - \frac{\dot{Y}}{Y} \\
&= \frac{\dot{\left(C/Y\right)}}{C/Y} - \sum_j s_j \frac{\dot{p}_j}{p_j}
\end{aligned}$$

$$\frac{\partial \ln C}{\partial \ln t} = \frac{\left(\dot{C/Y}\right)}{C/Y} - \sum_j s_j \frac{\dot{p}_j}{p_j} \tag{37}$$

dove abbiamo utilizzato le seguenti relazioni

$$\begin{aligned}
C &= \Sigma_k p_k x_k \Longrightarrow \frac{\partial C}{\partial p_k} = x_k \Longrightarrow \frac{\partial C}{\partial p_k}\frac{1}{x_k} = 1 \\
Y &= \sum_k x_k \Longrightarrow \sum_k \frac{dx_k/dt}{x_k} = \frac{dY/dt}{Y} \\
s_k &= s_j = \frac{p_j x_j}{C} \text{ (share del fattore j sui costi)} \\
\frac{dX/dt}{X} &= \frac{d\ln X}{dt} = \frac{\dot{X}}{X}
\end{aligned}$$

Infine se i rendimenti di scala sono costanti la funzione dei costi può essere rappresentata da:

$$C = Y c\,(p,t) \Longrightarrow \frac{\partial C}{\partial Y} = c\,(p,t) = \frac{C}{Y}$$

$\Longrightarrow$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{CY} &= 1 \Longrightarrow \\
\varepsilon_{ct} &= \frac{d\ln C}{dt} = \frac{t}{C}\left[\frac{\partial C}{\partial Y}\frac{dY}{dt} + \frac{\partial C}{\partial c\,(p,t)}\frac{dc\,(p,t)}{dt}\right] \\
&= \frac{t}{C}\left[c\,(p,t)\,Y\frac{dY/dt}{Y} + Y c\,(p,t)\,\frac{dc\,(p,t)\,/dt}{c\,(p,t)}\right] \\
&= \frac{t}{C}\left[c\,(p,t)\,Y\frac{dY/dt}{Y} + Y c\,(p,t)\,\frac{d\,(C/Y)\,/dt}{(C/Y)}\right] \\
&\Longrightarrow \frac{d\ln (C/Y)}{dt} = \frac{d\ln C}{dt} - \frac{d\ln Y}{dt}
\end{aligned}$$

Ma se i rendimenti di scala non sono costanti, come ipotizzato dagli autori:

$$C = H\,(p,t,Y) \tag{38}$$

$\Longrightarrow$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{ct} &= \frac{d\ln C}{dt} = \frac{t}{C}\left[\frac{\partial C}{\partial Y}\frac{dY}{dt} + \frac{\partial C}{\partial t}\right] \\
&= \frac{t}{C}\left[Y\frac{\partial C}{\partial Y}\frac{dY/dt}{Y} + \frac{\partial C}{\partial t}\frac{Y}{Y}\frac{d\,(C/Y)}{d\,(C/Y)}\right] \\
&= \varepsilon_{cy}\frac{d\ln Y}{dt} + \frac{Y}{C}\frac{d\,(C/Y)}{dt}\frac{\partial C}{d\,(C/Y)\,Y}\frac{dt}{\partial t} \\
&= \varepsilon_{cy}\frac{d\ln Y}{dt} + \frac{d\ln (C/Y)}{dt}
\end{aligned}$$

$$\Longrightarrow \frac{d\ln(C/Y)}{dt} = \frac{d\ln C}{dt} - \varepsilon_{cy}\frac{d\ln Y}{dt} \tag{39}$$

dove abbiamo usato

$$\begin{aligned} se\ \partial X &\equiv dX \Longrightarrow \\ C &= (C/Y)\,Y \Longrightarrow \frac{\partial C}{\partial(C/Y)}\frac{d(C/Y)}{d(C/Y)} = Y \\ \frac{dt}{\partial t} &= 1 \end{aligned}$$

$\Longrightarrow$ In tal caso l'equazione che descrive gli effetti "esogeni" del progresso tecnico sui costi di produzione (equazione (37)), $\frac{\partial \ln C}{\partial \ln t}$, deve essere modificata con l'equazione (39), i.e.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln C}{\partial \ln t} &= \frac{\dot{\left(C/Y\right)}}{C/Y} - \sum_j s_j \frac{\dot{p}_j}{p_j} \\ &= \frac{d\ln C}{dt} - \varepsilon_{cy}\frac{d\ln Y}{dt} - \sum_j s_j \frac{\dot{p}_j}{p_j} \end{aligned} \tag{40}$$

Inoltre se assumiamo che i costi totali sono pari a

$$C = G(x,p,t,Y) + \sum_k p_k x_k \tag{41}$$

$\Longrightarrow$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ct} &= \frac{\partial \ln C}{\partial t} + \frac{t}{C}\sum_j \left[\frac{\partial C}{\partial x_j}\frac{dx_j}{dt} + \frac{\partial C}{\partial p_j}\frac{dp_j}{dt}\right] \\ &\quad + \frac{t}{C}\sum_k \left[\frac{\partial C}{\partial K_p}\frac{dK_p}{dt} + \frac{\partial C}{\partial P_{Kp}}\frac{dP_{Kp}}{dt} + \frac{\partial C}{\partial K_g}\frac{dK_g}{dt}\right] \end{aligned}$$

che puo' essere semplificata come segue: (i) il secondo termine alla destra del segno di uguaglianza tiene conto delle economie di scala realizzabili grazie al progresso tecnologico (rendimenti di scala non costanti):

$$\frac{t}{C}\sum_j \left[\frac{\partial C}{\partial x_j}\frac{dx_j}{dt}\right] = \sum_j \left[\frac{dY_j/dt}{Y_j}\frac{\partial C}{\partial Y_j}\frac{Y_j}{C}\right] = \varepsilon_{cy}\frac{\dot{Y}}{Y} \tag{42}$$

dove abbiamo assunto che in equilibrio $x_j = v_j = Y_j$.

(ii) anche il terzo termine alla destra del segno di uguaglianza tiene conto delle economie di scala realizzabili grazie al progresso tecnologico (a parita' di costi sara' possibile utilizzare una maggiore quantita' di input):

$$\frac{t}{C}\sum_j\left[\frac{\partial C}{\partial p_j}\frac{dp_j}{dt}\right]=\sum_j\left[\frac{p_jv_j}{C}\frac{dp_j/dt}{p_j}\frac{\partial C}{\partial p_j}\frac{1}{v_j}\right]=\sum_j\frac{p_jv_j}{C}\frac{\dot{p}_j}{p_j} \tag{43}$$

(iii) il quarto termine alla destra del segno di uguaglianza tiene conto delle economie di scala dovute alla fissita' del fattore capitale privato nel breve periodo: K_p puo' essere variato per soddisfare le esigenze di ottimo di produzione (al variare del progresso tecnologico) solo a intervalli di tempo predeterminati; lo scostamento tra P_{Kp} e Z_{Kp} esprime quanto l'impresa sia lontana dalla condizione di ottimo di lungo periodo, $P_{Kp}=Z_{Kp}$, i.e. quanto la quantita' di input K_p sia subottimale rispetto alle esigenze di ottimo (minimizzazione dei costi e massimizzazione del profitto):

$$\begin{aligned}\frac{t}{C}\sum_k\left[\frac{\partial C}{\partial K_p}\frac{dK_p}{dt}\right] &= \sum_k\frac{P_{Kp}K_p}{C}\frac{dK_p/dt}{K_p}\frac{\partial C}{\partial K_p}\frac{1}{P_{Kp}}=\frac{P_{Kp}K_p}{C}\frac{\dot{K}_p}{K_p}\\ &\Longrightarrow \frac{(P_{Kp}-Z_{Kp})\,K_p}{C}\frac{\dot{K}_p}{K_p}\end{aligned} \tag{44}$$

(iv) il quinto termine tiene conto dell'effetto del progresso tecnologico sul prezzo P_{Kp} (questo termine puo' essere piu' o meno rilevante a seconda del grado di competitivita' nel mercato del fattore K_p) :

$$\frac{t}{C}\sum_k\left[\frac{\partial C}{\partial P_{Kp}}\frac{dP_{Kp}}{dt}\right]=\frac{P_{Kp}K_p}{C}\frac{\dot{P}_{Kp}}{P_{Kp}} \tag{45}$$

(v) l'ultimo termine esprime il beneficio legato al tasso di crescita nel tempo (il tempo è utilizzato dagli autori come proxy per il progresso tecnico) delle infrastrutture pubbliche in termini di minori costi di produzione (beneficio marginale Z_{Kg}) :

$$\frac{t}{C}\sum_k\left[\frac{\partial C}{\partial K_g}\frac{dK_g}{dt}\right]=-\frac{Z_{Kg}K_g}{C}\frac{\dot{K}_g}{K_g} \tag{46}$$

Usando queste semplificazioni possiamo esprimere l'elasticita' totale (o corretta) dei costi rispetto al progesso tecnologico, $\varepsilon^T_{Ct}\equiv\frac{\partial\ln C}{\partial t}$, nel seguente modo:

$$\varepsilon^T_{Ct}=\frac{\dot{C}}{C}-\varepsilon_{cy}\frac{\dot{Y}}{Y}-\sum_j\frac{p_jv_j}{C}\frac{\dot{p}_j}{p_j}-\frac{(P_{Kp}-Z_{Kp})\,K_p}{C}\frac{\dot{K}_p}{K_p}-\frac{P_{Kp}K_p}{C}\frac{\dot{P}_{Kp}}{P_{Kp}}+\frac{Z_{Kg}K_g}{C}\frac{\dot{K}_g}{K_g} \tag{3'}$$

dove $\frac{\dot{C}}{C}\equiv\varepsilon_{ct}$.

Inoltre assumendo che $C = \sum_j p_j v_j + \sum_k p_k x_k$ (i.e. che una parte dei fattori produttivi sia perfettamente variabile nel breve periodo) possiamo calcolare

$$\frac{\dot{C}}{C} = \sum_j \frac{p_j v_j}{C}\frac{\dot{p}_j}{p_j} + \sum_j \frac{p_j v_j}{C}\frac{\dot{v}_j}{v_j} + \frac{(P_{Kp})}{C}\frac{\dot{K}_p}{K_p} + \frac{P_{Kp}K_p}{C}\frac{\dot{P}_{Kp}}{P_{Kp}}$$

e sostituire questa espressione nell'equazione precedente, per ottenere un'espressione dell'elasticita' totale in termini di crescita dell'output e degli input:

$$\varepsilon_{Ct}^T = -\varepsilon_{cy}\frac{\dot{Y}}{Y} + \sum_j \frac{p_j v_j}{C}\frac{\dot{v}_j}{v_j} + \frac{Z_{Kp}}{C}\frac{\dot{K}_p}{K_p} + \frac{Z_{Kg}K_g}{C}\frac{\dot{K}_g}{K_g} \tag{4'}$$

Come abbiamo gia' visto, con rendimenti di scala costanti:

$$\varepsilon_{Ct} = -\frac{\dot{Y}}{Y} + \sum_j s_j \frac{\dot{v}_j}{v_j} \tag{47}$$

Pertanto possiamo esprimere l'elasticita' totale in termini di "errori da scostamenti" ('error biases'):

$$\varepsilon_{Ct}^T - \varepsilon_{Ct} = -\varepsilon_{cy}\frac{\dot{Y}}{Y} + \sum_j \frac{p_j v_j}{C}\frac{\dot{v}_j}{v_j} + \frac{Z_{Kp}K_p}{C}\frac{\dot{K}_p}{K_p} + \frac{Z_{Kg}K_g}{C}\frac{\dot{K}_g}{K_g} + \frac{\dot{Y}}{Y} - \sum_j s_j \frac{\dot{v}_j}{v_j} \tag{48}$$

$$\Longrightarrow -\varepsilon_{Ct}^T = -\varepsilon_{Ct} + (\varepsilon_{cy} - 1)\frac{\dot{Y}}{Y} + \varepsilon_{CKp}\frac{\dot{K}_p}{K_p} - s_{K_g}^*\frac{\dot{K}_g}{K_g} \tag{5'}$$

dove abbiamo utilizzato $Z_{Kg} = -\partial G/\partial K_p$ e $s_{K_g}^* = \frac{Z_{Kg}K_g}{C}$ ($s_{K_g}^*$ denota la "quota ombra" di K_g sul totale dei costi).

Infine possiamo utilizzare $(3')$, $(4')$ e $(5')$ per evidenziare il "contributo" delle infrastrutture pubbliche in termini di (a) minore crescita dei costi, (b) maggiore crescita dell'output e (c) di produttivita':

$$\frac{\dot{C}}{C} = \varepsilon_{Ct}^T + \varepsilon_{cy}\frac{\dot{Y}}{Y} + \sum_j \frac{p_j v_j}{C}\frac{\dot{p}_j}{p_j} + \frac{(P_{Kp} - Z_{Kp})}{C}\frac{\dot{K}_p}{K_p} + \frac{P_{Kp}K_p}{C}\frac{\dot{P}_{Kp}}{P_{Kp}} - \frac{Z_{Kg}K_g}{C}\frac{\dot{K}_g}{K_g} \tag{3''}$$

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = -\varepsilon_{Ct}^T + (1 - \varepsilon_{cy})\frac{\dot{Y}}{Y} + \sum_j \frac{p_j v_j}{C}\frac{\dot{v}_j}{v_j} + \frac{Z_{Kp}}{C}\frac{\dot{K}_p}{K_p} + \frac{Z_{Kg}K_g}{C}\frac{\dot{K}_g}{K_g} \tag{4''}$$

$$\begin{aligned} -\varepsilon_{Ct} &= -\varepsilon_{Ct}^T - (\varepsilon_{cy} - 1)\frac{\dot{Y}}{Y} - \varepsilon_{CKp}\frac{\dot{K}_p}{K_p} + s_{K_g}^*\frac{\dot{K}_g}{K_g} \qquad (5'') \\ &= -\varepsilon_{Ct}^T - \left(\varepsilon_{cy}^L - 1\right)\frac{\dot{Y}}{Y} + \varepsilon_{CK_p}\varepsilon_{K_pY}\frac{\dot{Y}}{Y} - s_{K_g}^*\varepsilon_{K_gY}\frac{\dot{Y}}{Y} - \varepsilon_{CKp}\frac{\dot{K}_p}{K_p} + s_{K_g}^*\frac{\dot{K}_g}{K_g} \end{aligned}$$

dove per ottenere la seconda uguaglianza in $(5'')$ utilizziamo la (2). Quest'ultima espressione evidenzia che le infrastrutture pubbliche (e anche il capitale privato) hanno un effetto diretto e uno indiretto sulla crescita della produttivita':

$$K_g DIR = s^*_{K_g} \frac{\dot{K}_g}{K_g} \tag{49}$$

$$K_g IND = -s^*_{K_g} \varepsilon_{K_g Y} \frac{\dot{Y}}{Y} \tag{50}$$

Pertanto se il tasso di crescita delle infrastrutture e' positivo, l'effetto diretto determina una crescita della produttivita' (misurata o osservabile da uno statistico) superiore rispetto a quella effettiva. L'effetto indiretto causa una crescita inferiore rispetto a quella effettiva. Il modo corretto di valutare il contributo delle infrastrutture pubbliche tiene pertanto conto del tasso di crescita delle infrastrutture rispetto a quello della produzione. Solo se il primo e' superiore al secondo, il contributo alla produttivita' delle infrastrutture sara' positivo.

7.2.2 Stima della funzione dei costi

Gli autori ipotizzano che i costi variabili possano essere descritti dalla seguente funzione "generalizzata di Leontief":

$$\begin{aligned} G(Y,t,x,p) &= Y\left[\Sigma_i\Sigma_j\alpha_{ij}p_i^{.5}p_j^{.5} + \Sigma_i\Sigma_m\delta_{im}p_i s_m^{.5} + \Sigma_i p_i \Sigma_m\Sigma_n\gamma_{mn}s_m^{.5}s_n^{.5}\right] \\ &\quad +Y^{.5}\left[\Sigma_i\Sigma_k\delta_{ik}p_i x_k^{.5} + \Sigma_i p_i\Sigma_m\Sigma_k\gamma_{mk}s_m^{.5}x_k^{.5}\right] + \Sigma_i p_i\Sigma_k\Sigma_l\gamma_{lk}x_k^{.5}x_l^{.5} \end{aligned} \tag{51}$$

dove x_k, x_l denotano i fattori quasi-fissi; p_i, p_j sono gli indici dei prezzi dei fattori variabili; s_m, s_n sono gli argomenti residui (Y,t) in $G(Y,t,x,p)$.

Gli autori stimano il seguente sistema di quattro equazioni per ciascuna regione (Nord, Est, Sud, Ovest):

$$\frac{v_i}{Y} = \frac{\partial G}{\partial p_i}\frac{1}{Y} \tag{A}$$

dove $i = L_n, L_p, E$

$$p_Y = MC = \frac{\partial G}{\partial Y} \tag{B}$$

L'equazione (A) descrive le relazioni tra input e output che determinano le quantità ottimali di input variabili (L_n, L_p, E) (tali quantità si ottengono per semplice differenziazione della funzione dei costi variabili utilizzando il lemma di Shephard). L'equazione (B) descrive il prezzo ottimo (che massimizza il profitto) nel breve periodo.

Da queste equazioni e' possibile calcolare tutte le elasticita' e relazioni descritte nella sezione teorica. Ad esempio, l'elasticita' delle infrastrutture pubbliche rispetto alla produzione ε_{KgY} viene calcolata nel modo seguente:

$$\varepsilon_{KgY} = \frac{Y}{K_g}\frac{\partial K_g}{\partial Y} = \frac{Y}{K_g}\frac{\partial G}{\partial Y}\frac{\partial K_g}{\partial G} = \frac{Y}{K_g}\frac{\partial G}{\partial Y}\left(-\frac{1}{Z_{K_g}}\right)$$

Infine possiamo utilizzare $\varepsilon_{KgY}, s^*_{Kg}, \dot{K}_g/K_g$ e $\dot{Y}/Y$ per calcolare gli effetti diretti e indiretti delle infrastrutture (descritti sopra).

7.3 Haughwout Andrew "Public Infrastructure Investments, Productivity and Welfare in Fixed Geographic Areas", (2002)

7.3.1 Modello econometrico

Le equazioni stimate dall'autore per ciascun area metropolitana cercano di spiegare i prezzi locali dei fattori territorio e lavoro. Nella prima fase l'autore stima le seguenti equazioni:

$$LogHV_{i,j,t} = \alpha_1 HQ_{i,j,t} + \alpha_2 C_j T_t + \varepsilon_{i,j,t} \tag{52}$$

$$LogW_{i,j,t} = \beta_1 HQ_{i,j,t} + \beta_2 C_j T_t + \mu_{i,j,t} \tag{53}$$

dove i, j, t indicizzano le famiglie, le aree metropolitane e il periodo (l'autore dispone di informazioni per 37.503 famiglie in 33 città centrali su 12 periodi di tempo ('cross sections')), HV sta per valore di un'abitazione, W indica il salario del capo famiglia, mentre HQ e HC sono vettori contenenti variabili che incidono sulla qualità di un'abitazione e del capitale umano. C_j e T_t sono variabili dummy per la città e per il periodo di tempo considerato. La loro interazione permette la stima degli effetti sui prezzi locali specifici a ciascuna città in un determinato periodo (effetti città-anno). $\varepsilon_{i,j,t}$ e $\mu_{i,j,t}$ sono "rumori bianchi" residui.

Nella seconda fase della procedura di stima si cerca di quantificare in che misura le stime di $\hat{\alpha}_{2,j,t}$ e $\hat{\beta}_{2,j,t}$ siano determinate anche dalle infrastrutture pubbliche. A tal fine si stima il seguente sistema di equazioni simultanee:

$$\hat{\alpha}_{2,j,t} = \alpha_4 A_j + \alpha_5 LTS_{j,t} + \alpha_6 STS_{j,t} + \alpha_7 LG_{j,t} + \alpha_8 SG_{j,t} + \alpha_9 \hat{\beta}_{2,j,t} + \nu_{j,t} \tag{54}$$

$$\hat{\beta}_{2,j,t} = \beta_4 A_j + \beta_5 LTS_{j,t} + \beta_6 STS_{j,t} + \beta_7 LG_{j,t} + \beta_8 SG_{j,t} + \beta_9 \hat{\alpha}_{2,j,t} + \eta_{j,t} \tag{55}$$

dove i regressori misurano i tratti locali specifici a una certa area metropolitana (A_j), le aliquote in vigore in una certa area $(LTS_{j,t})$, i servizi offerti dal sistema fiscale locale $(STS_{j,t})$ e le disponibilità di infratsrutture e servizi locali ($LG_{j,t}$ e $SG_{j,t}$).

I coefficienti α_7 e β_7 misurano gli effetti sui prezzi locali dei fattori produttivi degli stock di infrastrutture presenti nelle aree metropolitane cui si fa riferimento nel presente studio.

7.3.2 Relazioni tra modello econometrico e modello teorico

Le stime di $\hat{\alpha}_7$ e $\hat{\beta}_7$ vengono infine utilizzate per calcolare i benefici marginali derivanti alle imprese e alle famiglie da aumenti dello stock di infrastrutture locali. Per l'impresa tipo questi benefici derivano dai minori costi sostenuti a parità di profitto a seguito di un aumento delle infrastrutture. Tali minori costi (o benefici se premultiplichiamo i minori costi per -1) possono essere espressi come segue:

$$-\frac{\partial c}{\partial G_j} > 0 \tag{56}$$

Per le famiglie i benefici marginali sono dovuti al risparmio di spesa a parità di utilità o livello di soddisfazione:

$$-\frac{\partial e}{\partial G_j} > 0 \tag{57}$$

dove la "e" sta per spesa ('expenditure').

In equilibrio imprese e consumatori massimizzano (minimizzano) profitti (costi) e utilità (spesa). Le condizioni di ottimo per l'impresa tipo implicano che il costo unitario di produzione uguagli i ricavi unitari (o che questi ultimi siano pari a un *mark-up* nei mercati oligopolistici):

$$c\left(W_j, R_j, G_j\right) = P_x \tag{58}$$

dove W_j sta per costo del lavoro locale, R_j indica il prezzo locale dei terreni (intesi come edifici, capannoni, ecc.) e G_j misura lo stock di infrastrutture a livello locale. I ricavi unitari sono pari al prezzo di vendita unitario del bene x venduto dall'impresa tipo. Si assume che questo prezzo sia esogeno rispetto all'impresa individuale, i.e. il prezzo viene determinato sul mercato del bene finale a livello nazionale e/o internazionale.

La condizione di ottimo per i consumatori evidenzia il livello di spesa minima necessario per ottenere un livello di utilità o soddisfazione pari ad un *benchmark* stabilito a livello nazionale:

$$e\left(R_j, G_j, \bar{V}\right) = W_j \tag{59}$$

dove W_j è il salario o reddito d'equilibrio che consente di sostenere una spesa minima, e, sufficiente per percepire un'utilità "media" pari a $\bar{V}$.

Queste due condizioni di ottimo possono essere manipolate per calcolare i suindicati benefici marginali derivanti da unità addizionali di infrastrutture. Differenziando le due condizioni d'equilibrio rispetto a G_j si ottiene:

$$\frac{\partial c}{\partial G_j}\frac{dG_j}{dG_j} + \frac{\partial c}{\partial W_j}\frac{dW_j}{dG_j} + \frac{\partial c}{\partial R_j}\frac{dR_j}{dG_j} = \frac{dP_x}{dG_j} = 0 \tag{60}$$

dove la seconda uguaglianza deriva dal fatto che si assumono prezzi dei beni finali esogeni.

$$\begin{aligned} \frac{\partial e}{\partial G_j} + \frac{\partial e}{\partial R_j}\frac{dR_j}{dG_j} + \frac{\partial e}{\partial \bar{V}}\frac{d\bar{V}}{dG_j} &= \frac{dW_j}{dG_j} \\ \frac{\partial e}{\partial G_j} + \frac{\partial e}{\partial R_j}\frac{dR_j}{dG_j} &= \frac{dW_j}{dG_j} \end{aligned} \tag{61}$$

dove nell'ultima equazione abbiamo omesso $\frac{\partial e}{\partial \bar{V}}\frac{d\bar{V}}{dG_j}$ in quanto pari a zero ($\bar{V}$ è pari a un certo valore "nazionale" indipendente dal livello locale di G_j).

Possiamo infine utilizzare le due equazioni precedenti per calcolare i benefici marginali percepiti da imprese e famiglie:

$$\frac{\partial c}{\partial G_j} = -\left(n_j^1\frac{dW_j}{dG_j} + m_j^1\frac{dR_j}{dG_j}\right) \tag{62}$$

dove utilizziamo la proprietà (Lemma di Shephard) in base alla quale in corrispondenza di una produzione ottima a costi minimi le derivate parziali della funzione di costo esprimono le quantità ottime di input (lavoro e terra, rispettivamente indicate con $\frac{\partial c}{\partial W_j} = n_j^1$ e $\frac{\partial c}{\partial R_j} = m_j^1$; l'apice "1" indica che si tratta delle quantità ottime di input necessarie a produrre una unità di bene, in quanto stiamo considerando costi ottimi unitari di produzione).

I benefici marginali per le famiglie sono pari a:

$$\frac{\partial e}{\partial G_j} = \frac{dW_j}{dG_j} - l_j\frac{dR_j}{dG_j} \tag{63}$$

dove $\frac{\partial e}{\partial R_j} = l_j$ corrisponde alla domanda di territorio da parte della famiglia tipo che sta ottimizzando le proprie spese.

Quattro considerazioni importanti:

- Le stime dei parametri $\hat{\alpha}_7$ e $\hat{\beta}_7$ misurano rispettivamente $\frac{dR_j}{dG_j}$ e $\frac{dW_j}{dG_j}$. Pertanto conoscendo i tassi di occupazione locale (i.e. conoscendo n_j^1) e i tassi di "utilizzazione del territorio" (m_j^1, l_j) è possibile utilizzare tali stime per quantificare i benefici marginali $\left(\frac{\partial e}{\partial G_j}, \frac{\partial c}{\partial G_j}\right)$.

- Le equazioni che descrivono i benefici marginali possono essere interpretate intuitivamente come segue: aumenti nei prezzi locali dei fattori produttivi dovuti ad aumenti nello stock di infrastrutture disponibili a livello locale riflettono un aumento nella produttività marginale dei fattori produttivi impiegati dall'impresa locale. L'aumentata produttività dei fattori consente un risparmio nei costi di produzione (unitari, in questo caso specifico) riconducibile allo stock (aumentato) di infrastrutture. Parimenti questi aumenti di produttività consentono ai consumatori di rsiparmiare sull'acquisto della casa (ad es. una rete metropolitana potenziata aumenta l'offerta potenziale di centri residenziali abbattendo i prezzi medi delle abitazioni), di risparmiare tempo "speso al lavoro" (che include anche il costo legato agli spostamenti da e verso casa) e, infine, di aumentare le possibilità di spesa individuali (a parità di tempo passato al lavoro). I primi due "risparmi" percepiti dalla famiglia sono degli "effetti di reddito", mentre l'aumentata capacità di spesa è legata agli "effetti di sostituzione" innescati dall'aumento nello stock di infrastrutture.

- Le condizioni d'equilibrio (58) e (59) che sono alla base delle equazioni (62) e (63) possono essere combinate per calcolare i prezzi locali di equilibrio:

$$R_j^* = R\left(P_x, G_j, \bar{V}\right) \tag{64}$$

$$W_j^* = W\left(P_x, G_j, \bar{V}\right) \tag{65}$$

  Queste due equazioni giustificano a loro volta, da un punto di vista teorico, la procedura di stima (e le relative equazioni (52) e (53) che vengono utilizzate) descritta prima.

- Infine, è possibile confrontare l'approccio d'equilibrio spaziale con gli approcci più tradizionali incentrati sulle imprese che cercano di stimare gli effetti delle infrastrutture su una qualche misura (dal lato della produzione, APF, o dal lato dei costi, ACF) aggregata della produttività. In questo modello teorico spaziale, in equilibrio la quantità ottima di territorio domandata/utilizzata dalle imprese, M_j^*, è pari alla somma delle domande individuali di ciascuna impresa o pari all'input ottimale unitario del fattore territorio, $m_j^1(\bullet)$, moltiplicato per la quantità totale di output, X_j^* :

$$M_j^* = m_j^1\left(R_j^*, W_j^*, G_j\right) X_j^* \tag{66}$$

La quantità ottima di territorio occupata dalle famiglie, L_j^*, è pari alla domanda individuale, l_j, moltiplicata per la popolazione totale, N_j^* (a sua volta, assumendo la piena occupazione, pari alla domanda unitaria di fattore lavoro, $n_j^1(\bullet)$, moltiplicata per la produzione totale d'equilibrio X_j^*) :

$$L_j^* = l_j N_j^* = l_j n_j^1\left(R_j^*, W_j^*, G_j\right) X_j^* \tag{67}$$

Assumendo che il territorio studiato sia costituito da un'area geografica fissa o delimitata pari a $\bar{L}_j$ in equilibrio deve valere:

$$\bar{L}_j = M_j^* + L_j^* = m_j^1\left(R_j^*, W_j^*, G_j\right) X_j^* + l_j n_j^1\left(R_j^*, W_j^*, G_j\right) X_j^* \qquad (68)$$

questo equilibrio tra domanda e offerta (inelastica) di territorio può essere manipolato per esprimere l'output territoriale in funzione del territorio e implicitamante in funzione dei prezzi locali dei fattori $\left(R_j^*, W_j^*\right)$ e dello stock di infrastrutture locali (G_j) :

$$X_j^* = \frac{\bar{L}_j}{m_j^1\left(R_j^*, W_j^*, G_j\right) + l_j n_j^1\left(R_j^*, W_j^*, G_j\right)} = \frac{\bar{L}_j}{L_j^1\left(R_j^*, W_j^*, G_j\right)} \qquad (69)$$

dove $L_j^1\left(R_j^*, W_j^*, G_j\right)$ denota la quantità di territorio necessaria a produrre una unità di bene tenendo presente le esigenze delle imprese (per le quali il territorio è un fattore produttivo) e delle famiglie (per le quali il territorio è il luogo di residenza).

E' immediato utilizzare questa espressione [che lega la produzione locale d'equilibrio (domanda=offerta) alla condizione che descrive l'equilibrio territoriale (domanda=offerta)] per calcolare gli impatti delle infrastrutture sulla produzione in funzione degli effetti sui prezzi locali determinati dalle infrastrutture stesse:

$$\frac{\partial X_j^*}{\partial G_j} = h\left(\frac{dR_j}{dG_j}, \frac{dW_j}{dG_j}\right)$$

che utilizzando le equazioni (62) e (63) può anche essere espressa in termini di benefici marginali percepiti dalle imprese e dalle famiglie:

$$\frac{\partial X_j^*}{\partial G_j} = f\left(\frac{\partial c}{\partial G_j}, \frac{\partial e}{\partial G_j}\right)$$

Questa equazione dimostra che seguendo l'approccio d'equilibrio territoriale un valore positivo

$$\frac{\partial X_j^*}{\partial G_j} > 0$$

non costituisce "evidenza" che le infrastrutture siano "produttive" per l'impresa locale tipo, i.e. che $\frac{\partial c}{\partial G_j} < 0$, come invece sostenuto da molti studi che seguono un approccio aggregato incentrato solo sull'impresa. $\frac{\partial X_j^*}{\partial G_j}$ è una funzione complessa dei benefici marginali percepiti da imprese e famiglie. Un segno positivo di questa derivata parziale non garantisce che famiglie e imprese traggano entrambi beneficio da un aumento nello stock di infrastrutture pubbliche. Pertanto solo un approccio territoriale che sia in grado di isolare le variazioni nei prezzi dei fattori locali $\left(\frac{dR_j}{dG_j}, \frac{dW_j}{dG_j}\right)$ dovute a elementi privi di prezzi di mercato (quali sono le infrastrutture pubbliche, G_j) può cercare di valutare gli effetti propri delle infrastrutture a vantaggio delle imprese e, separatamente, delle famiglie (utilizzando le equazioni (62) e (63)).

7.3.3 Conclusione

L'approccio territoriale (o d'equilibrio spaziale o spaziale) costituisce un modo nuovo e alternativo rispetto agli approcci più tradizionali per l'analisi territoriale dell'efficacia delle infrastrutture pubbliche. Rispetto agli approcci tradizionali che si basano sulla funzione di produzione (APF) o dei costi (ACF) dell'impresa rappresentativa, i vantaggi principali dell'approccio spaziale sono i seguenti:

(i) Si tiene specificatamente conto del fattore territorio. Questa impostazione ha un senso nella misura in cui il territorio abbia un valore strategico per le imprese (in termini di mercato di sbocco, capacità di approvvigionamento delle risorse fisiche e umane, ecc.) e per le famiglie (in termini di capacità di trovare un alloggio, lavoro, possibilità di istruzione, svaghi, ecc.).

(ii) L'attenzione al territorio impone un particolare rigore metodologico: l'analisi dei dati territoriali deve tenere conto delle relazioni spaziali esistenti tra le variabili considerate.

(iii) Si cercano di evidenziare gli effetti delle infrastrutture pubbliche per le imprese rispetto a quelli per le famiglie. L'inclusione delle famiglie nell'approccio territoriale è motivata anche dai vantaggi enunciati sub (i) (i.e. il territorio e le infrastrutture locali che influenzano i prezzi locali dei fattori possono generare dei benefici distinti per le famiglie e per le imprese) e sub (ii) (i.e. la mobilità delle imprese sul territorio potrebbe falsare la valutazione degli effetti prodotti dalle infrastrutture sulla produzione aggregata territoriale).

(iv) Pur basandosi su un modello teorico, l'applicazione empirica di questo approccio è relativamente flessibile (ad es. nelle equazioni $(52), (53), (54), (55)$ i regressori sono dei vettori $HQ, HC, A, STS, ecc.$ il cui contenuto non è determinato a priori da alcuna teoria).

Le critiche che possono essere mosse all'approccio spaziale sono strettamente collegate ai suoi vantaggi:

(i) Non essendo vincolato da una struttura teorico-empirica rigida (quale ad esempio la teoria dei costi e le conseguenti implicazioni econometriche che ne derivano), l'approccio spaziale non offre dei punti di riferimento precisi rispetto agli approcci più tradizionali. Questi ultimi possono contare su raffronti con una moltitutidine di studi incentrati sul calcolo di alcune variabili standard, quali ad esempio l'elasticità.

(ii) Ad una chiara distinzione tra benefici percepiti dalle imprese e dalle famiglie non corrisponde una disaggregazione degli effetti delle infrastrutture per ciascuna di queste due categorie. L'approccio ACF di Morrison e Schwartz dimostra, ad esempio, quanto sia importante distinguere, per la sola impresa, tra gli effetti diretti e indiretti delle infrastrutture pubbliche sui costi di produzione.

(iii) La mancanza di un "corpus econometrico" ben definito (l'ACF si basa su certe tecniche econometriche standard) suggerisce l'importanza di approfondire lo studio delle tecniche spaziali per l'analisi dei dati territoriali.