

ACCESSIBILITÀ E TRASPORTI IN EUROPA: METODOLOGIE DI SINTESI ED APPLICAZIONI.

Stefano Scagnolari, Aura Reggiani e Juan Carlos Martín

1. Introduzione

Negli ultimi anni si sono verificati continui e rapidi cambiamenti socio-economici e geo-politici, cambiamenti che sono fortemente relazionati al fenomeno della globalizzazione, la quale ha drasticamente contribuito alla crescente evoluzione dei flussi di trasporto e delle telecomunicazioni. In tale ambito ha assunto recentemente una notevole attenzione – tra gli studiosi di economia dei trasporti – lo studio dell’impatto che nuove infrastrutture possono avere sulle reti economico-spaziali, sia a livello locale, per quanto concerne, ad esempio, lo sviluppo regionale, sia a livello comunitario ed internazionale, in relazione alla diminuzione delle distanze fisiche (e non) tra paesi lontani.

Dato lo stretto legame tra accessibilità e sviluppo socio-economico di una regione, il concetto di accessibilità è divenuto negli ultimi decenni sempre più oggetto di studi ed analisi specifiche. Si è prodotto, in particolare, un notevole numero di ricerche sull’impatto di nuove infrastrutture sulle diverse aree geografiche e sul territorio in generale, cosicché i problemi legati all’accessibilità ed alle reti di comunicazione delle regioni e delle aree urbane hanno iniziato ad occupare un posto sempre più importante nei processi di pianificazione territoriale.

La realizzazione di una rete ferroviaria ad alta velocità a livello europeo – Trans European Transport Network (TEN-T) – è un chiaro esempio del forte impatto che può generare l’introduzione di una nuova, efficiente e moderna alternativa di trasporto.

Sulla base delle precedenti considerazioni, il presente lavoro ha l’obiettivo di studiare gli effetti e le ripercussioni – conseguenti alla costruzione di nuove

infrastrutture di trasporto quale la rete ferroviaria ad alta velocità – sullo sviluppo di una regione o area geografica.

Gli studi recenti sul concetto di accessibilità hanno condotto all'individuazione di differenti "indicatori", i quali hanno permesso – da un lato – di estendere lo studio degli effetti delle nuove infrastrutture ai diversi aspetti socio-economici delle aree coinvolte e – dall'altro – di tentare di pervenire ad una definizione chiara dello stesso principio di accessibilità.

L'obiettivo dell'analisi empirica svolta è quello di cercare di sintetizzare l'informazione proveniente da indicatori parziali, i quali differiscono tra loro a causa dei differenti fondamenti metodologici e della conseguente versatilità nelle applicazioni, fornendo, se possibile, un'unica misura riassuntiva. Al fine di raggiungere tale scopo verranno confrontate due metodologie differenti, il metodo DEA ("Data Envelopment Analysis") e la PCA ("Principal Component Analysis"), con riferimento agli effetti dell'introduzione della linea ad alta velocità su ottantotto città europee.

2. Il concetto di accessibilità

Le informazioni sull'accessibilità del territorio costituiscono una risorsa primaria al fine di conoscere il grado di prossimità e la facilità di comunicazione tra le diverse zone: la stima di questo tipo di indicatori permette infatti di evidenziare le regioni che necessitano maggiori o più efficienti infrastrutture.

Il concetto di accessibilità non è un concetto ambiguo; si possono in effetti riscontrare nella letteratura specifica differenti definizioni (si veda: Vickerman, 1995; Bruinsma e Rietveld, 1998; Reggiani, 1998). Cadauna di queste definizioni può considerarsi complementare alle altre per la ricerca di una formulazione "universale" che soddisfi i diversi obiettivi.

Nell'intento di raccogliere le principali definizioni, Jones (1981) propone una evoluzione storica composta da tre tappe principali (Orellana-Pizarro, 1994):

- Nei primi lavori l'accessibilità di un nodo era intesa solo in *funzione della sua localizzazione*.
- Successivamente l'accessibilità fu considerata anche in termini di *opportunità o possibilità* che una persona o gruppo di persone ha, in una zona concreta, di partecipare ad una attività o insieme di attività determinate.
- Nei lavori più recenti, alcuni autori hanno identificato l'accessibilità con il *beneficio netto* che raggiunge un gruppo di persone per risiedere in una determinata regione e poter usufruire un sistema di trasporti.

Si può notare come il concetto di accessibilità, affrontato inizialmente da un punto di vista meramente topologico, sia andato arricchendosi di contenuti economico-sociali.

Le più attuali definizioni ci permettono di distinguere quattro elementi presenti in qualsiasi analisi di accessibilità:

- a. *l'area di studio*, nella quale si trovano gli individui e le attività considerati,
- b. *il sistema di trasporto*, necessario perché le persone si spostino per partecipare alle diverse attività considerate,
- c. *le diverse attività*, che si svolgono all'interno dell'area di studio presa in analisi,
- d. *gli individui o gruppi*, che usufruiscono dell'opportunità di spostarsi.

Partendo da queste considerazioni si possono sviluppare impostazioni più o meno generali, o più o meno particolari, in funzione delle differenti aree di studio che si intende analizzare.

Al fine di illustrare in modo sintetico quelli che sono stati gli indicatori più utilizzati in letteratura negli studi sull'accessibilità, viene proposta la Tabella 2.1, riassuntiva delle differenti misure di accessibilità.

Nella Tabella 2.1 si possono, inoltre, notare le relazioni che l'accessibilità ha con altri aspetti quali la localizzazione, la vicinanza e l'interazione spaziale. In altre parole, l'accessibilità può essere – in generale – considerata come una *proprietà delle configurazioni d'opportunità per l'interazione spaziale*.

Risulta evidente, osservando la Tabella 2.1, come l'accessibilità venga formulata – in modo “universale” – come il *potenziale di opportunità*:

$$Acc_i = \sum_{j=1}^N D_j f(c_{ij}) . \quad (2.1)$$

dove Acc_i definisce l'accessibilità di un punto origine “ i ”; D_j é una misura o ponderazione delle attività/opportunità in “ j ”, e $f(c_{ij})$ é la funzione di impedenza esistente tra “ i ” e “ j ”.

Questa interpretazione di accessibilità come potenziale di opportunità – e conseguentemente come utilità attesa – é stata alla base degli studi più ragguardevoli nella letteratura scientifica (si vedano, ad es., i lavori fondamentali di Leonardi, 1978, 1981).

Tabella 2.1 - Principali misure di accessibilità – Adattata da Reggiani (1998)

MISURE DI ACCESSIBILITÀ	FORMULAZIONI ANALITICHE
<i>POTENZIALE DI OPPORTUNITÀ</i>	$Acc_i = \sum_j D_j e^{-\beta c_{ij}}$
<i>MISURE FISICHE</i>	$Acc_i = \sum_j c_{ij}$
<i>UTILITÀ ATTESA</i>	$Acc_i = \ln \sum_j D_j e^{-\beta c_{ij}}$
<i>FUNZIONE INVERSA DI COMPETITIVITÀ</i>	$Acc_i = \frac{1}{A_i}$
<i>ACCESSIBILITÀ CONGIUNTA</i>	$Acc_i = \sum_j Acc_j D_j e^{-\beta c_{ij}}$ dove $Acc_j = \sum_k D_k e^{-\gamma c_{jk}}$
<i>ACCESSIBILITÀ DINAMICA</i>	$Acc_i(t) = \frac{1}{A_i^*(t)}$

3. La metodologia adottata: gli indicatori parziali di accessibilità

3.1 I dati utilizzati

L'obiettivo della presente sperimentazione è quello di sintetizzare tutte le informazioni disponibili sulle misure concernenti l'accessibilità di ottantotto città europee, al fine di ottenere risultati consistenti e di facile interpretazione.

Le informazioni di base sono state elaborate dal Dipartimento di Analisi Economica Applicata dell'Università di Las Palmas di Gran Canaria attraverso l'utilizzo di metodologie e tecniche di tipo GIS (Geographic Information System) (Gutiérrez, 2001).

Come anticipato, il campione preso in considerazione riguarda ottantotto città europee e comprende tutte le città dell'Unione Europea e della Svizzera, considerando quelle di più di 300.000 abitanti con una connessione ferroviaria diretta tra loro (si veda il relativo elenco in Scagnolari, 2005). La distribuzione delle città per nazioni è la seguente:

- 25 Germania,
- 17 Francia,
- 13 Spagna
- 10 Inghilterra
- 8 Italia
- 6 Olanda
- 3 Svizzera
- 2 Portogallo e Belgio
- 1 Austria e Danimarca

È stata pertanto analizzata una fitta rete di strade e ferrovie che comprende tutte le linee di principale interesse alla luce di uno sviluppo europeo congiunto. I nodi della rete corrispondono alle stazioni dove si fermano i treni a medio-lunga percorrenza.

Per il calcolo degli indicatori di accessibilità sono stati considerati tre scenari differenti: due scenari rispecchiano la situazione per gli anni 1996 e 2005, dopo la parziale realizzazione dei progetti stabiliti, mentre il terzo scenario concerne l'anno 2015, quando si prevede l'ultimazione dell'intera rete ferroviaria europea ad alta velocità.

Ai fini della presente analisi 'globale' di accessibilità sono stati utilizzati gli indicatori 'parziali' elaborati da Gutiérrez e Jaro (1999) per lo studio delle variazioni di accessibilità ferroviaria delle città spagnole, variazioni emergenti a seguito della costruzione della linea ad alta velocità Madrid-Barcellona-Frontiera francese (Martín et al., 2004). Tali indicatori verranno sinteticamente illustrati nei paragrafi successivi.

3.2 L'indicatore di localizzazione

L'indicatore di localizzazione calcola la media dei tempi di viaggio che separa ogni nodo dai differenti centri delle attività economiche all'interno della rete, considerando la rendita come fattore di ponderazione e utilizzando il cammino più corto. La formulazione di questo indice è quindi:

$$L_i = \frac{\sum_{j=1}^n t_{ij} R_j}{\sum_{j=1}^n R_j} \quad . \quad (3.1)$$

Dove:

- L_i é la localizzazione del centro “ i ” rispetto ai centri considerati,
- t_{ij} é il tempo reale di viaggio attraverso la rete tra i nodi “ i ” e “ j ”,
- R_j é la rendita del centro delle attività economiche nel destino “ j ”.

L'interpretazione di questo indice é relativamente semplice: esso esprime in che misura una nuova infrastruttura possa modificare la localizzazione relativa delle aree geografiche, riducendo i tempi d'accesso ai centri di attività economica scelti.

3.3 L'indicatore di efficienza della rete

L'indicatore di efficienza, detto anche di *accessibilità relativa*, si definisce come segue:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{t_{ij}}{\hat{t}_{ij}} R_j}{\sum_{j=1}^n R_j} \quad . \quad (3.2)$$

Dove:

- A_i indica l'efficienza nella rete delle connessioni dal nodo “ i ” ai centri di attività considerati,
- R_j e t_{ij} hanno lo stesso significato illustrato nell'indice (3.1),
- \hat{t} é il tempo ideale di viaggio ottenuto in linea retta attraverso un'ipotetica linea ad alta velocità a 300 Km/h tra il nodo d'origine e i centri di attività economica.

I risultati di questo indicatore esprimono in unità relative la relazione tra l'impedimento reale e quello ideale: quanto minore sarà il suo valore, maggiore sarà il livello di accessibilità raggiunto.

L'indicatore di efficienza relativa della rete non verrà, comunque, utilizzato nella presente applicazione empirica volta alla misura sintetica di accessibilità, in quanto non considerato realistico, ad esempio in presenza di due nodi il cui collegamento rettilineo ipotetico attraverserebbe il mare.

3.4 L'indicatore del potenziale economico

L'indicatore del potenziale economico cerca di captare il grado d'interazione tra due aree geografiche, assumendo che due aree siano positivamente correlate per la popolazione, la rendita, il numero di posti di lavoro, ecc., ed inversamente correlate alla distanza che le separa, al costo del

viaggio, ed, in generale, a tutti i fattori economico-sociali che costituiscono un'impedenza.

L'espressione matematica del potenziale economico è la seguente:

$$P_i = \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{d_{ij}^x} \quad (3.3)$$

Dove:

- P_i è il mercato potenziale economico del nodo "j",
- M_j è una misura della attività economica del nodo "j",
- d_{ij} è una misura del costo di trasporto (tempo, distanza, ecc.) tra il nodo di origini "i" e i centri di attività economica nelle destinazioni "j",
- x riflette il grado di frizione che esiste per la distanza tra i nodi.

Si può definire l'indicatore del mercato potenziale come una misura dell'accessibilità dai nodi ai centri economici; esso può essere interpretato come il volume di attività economica alla quale un determinato nodo ha accesso, tenendo in conto il tempo o il costo per percorrere la distanza che separa i nodi.

3.5 L'indicatore di accessibilità diaria

L'indicatore di accessibilità diaria fornisce la quantità di popolazione che può raggiungere un nodo di destinazione e rientrare nel nodo di origine in un determinato limite di tempo (quattro ore di viaggio circa). Il limite di quattro ore di viaggio viene preso in considerazione come punto critico accettabile e rappresenta un tempo adeguato per realizzare un viaggio andata e ritorno.

La formulazione matematica di questo indice è:

$$DA_i = \sum_{j=1}^n P_j \delta_{ij} \quad (3.4)$$

Dove:

- DA_i indica l'accessibilità giornaliera del nodo "i",
- P_j è in numero dei non residenti nell'area "j"
- δ_{ij} è uguale a 1 se $t_{ij} < 4$ ore ed è uguale a 0 negli altri casi.

L'interpretazione di questo indice offre pertanto un forte contenuto economico-sociale; questo indicatore misura quanta popolazione può accedere in un giorno in un determinato nodo da un altro nodo, per la situazione anteriore o successiva alla realizzazione del progetto.

4. L'analisi empirica

Osservando i valori degli indicatori calcolati da Gutiérrez e Jaro (1999) si è potuto notare come la costruzione di una nuova infrastruttura produca – in linea generale – un miglioramento dell'accessibilità, sia dal punto di vista della localizzazione e del potenziale economico, sia per quanto concerne l'accessibilità diaria. Emerge inoltre – dal lavoro di Gutiérrez e Jaro – come le città centro-europee ottengano ottimi risultati in termini di accessibilità per tutti e tre gli scenari temporali considerati. Viceversa, le città europee più periferiche, ad esempio quelle della Penisola Iberica ed italiane, presentano valori che rispecchiano livelli di accessibilità inferiori.

L'interpretazione degli indicatori parziali di accessibilità è utile e ben definita; tuttavia essa non consente di effettuare un confronto sintetico e globale del livello di accessibilità per differenti regioni.

Ad esempio Parigi è la città che presenta i migliori livelli di accessibilità riferiti agli indicatori di localizzazione e del potenziale economico per i tre scenari temporali; tuttavia analizzando i valori dell'indicatore di accessibilità diaria la capitale francese si posiziona al quarto posto.

Sulla base pertanto degli indicatori parziali estrapolati da Gutiérrez e Jaro (1999) diventa necessario definire misure sintetiche e globali di accessibilità, anche al fine di proporre agli attori politici un quadro chiaro ed univoco degli scenari emergenti dalla realizzazione di investimenti sul territorio, quale la rete ferroviaria europea ad alta velocità. A tale proposito verranno sviluppate e messe a confronto due metodologie "di sintesi": 1) *Data Envelopment Analysis* (DEA), 2) *Analisi delle Componenti Principali* (PCA).

4.1 La metodologia DEA: teoria e risultati empirici

La metodologia DEA (Data Envelopment Analysis) è stata concepita inizialmente nel settore economico per decisori che utilizzavano molteplici fattori di produzione per ottenere più prodotti, senza specificarne chiaramente la relazione funzionale.

In questa applicazione la metodologia DEA è stata utilizzata in un contesto nel quale i dati che vengono analizzati, ossia gli indicatori di accessibilità, sono stati interpretati come fattori di produzione e prodotti. Al fine di operare tale distinzione si è utilizzato un metodo frequentemente adottato nella procedura di classificazione delle variabili, dove si assumono come fattori produttivi le misure per le quali si hanno valori più bassi, e come prodotti quelle per le quali si hanno livelli più elevati (Martín et al., 2006).

In particolare, nell'applicazione condotta, sono stati utilizzati come input gli indicatori di localizzazione e come output gli indicatori del potenziale economico e della accessibilità diaria.

Nell'analisi DEA si suppone generalmente che esistano n unità di produzione, le quali devono essere valutate, che utilizzano m input differenti per produrre s output diversi. Nel nostro caso, le unità che vanno ad essere valutate sono i centri di attività economica che corrispondono a ottantotto città europee con più di 300.000 abitanti.

L'unità di produzione o consuma x_{io} unità dell'input i ($i=1, \dots, m$), e produce y_{ro} unità dell'output r ($r=1, \dots, s$). Da questo si evince come l'unità o possa essere descritta in una forma semplificata dal vettore (X_o, Y_o) , il quale è formato dai vettori di input e output, rispettivamente. In questo caso, tale vettore, considerato per ogni città europea facente parte del campione considerato, è formato da tre componenti, che corrispondono alla terna composta dai seguenti indicatori di accessibilità: localizzazione, mercato potenziale e accessibilità diaria.

Successivamente si procede ad effettuare "confronti di dominanza" per ciascuna unità, utilizzando l'insieme dei dati campionari come referenza. L'analisi DEA prende in considerazione la prevalenza delle combinazioni lineari delle n unità di produzione, ossia $(\sum_k \lambda_k X_k, \sum_k \lambda_k Y_k)$, con la condizione che lo scalare sia non negativo.

L'unità di produzione o si definisce "dominata", in termini di input, se almeno una combinazione lineare delle unità di produzione indica che qualcuno tra gli input può essere ridotto senza implicare maggiori quantità nel resto dell'input o minori output. L'unità di produzione o si definisce "dominata", in termini di output se almeno una combinazione lineare di unità di produzione può aumentare qualcuno tra gli output senza causare un peggioramento negli input o nel resto degli output¹.

Questo metodo serve, quindi, per dividere l'insieme delle unità di produzione in sottoinsiemi, definiti unità di produzione efficienti ed inefficienti; inoltre esso viene utilizzato per calcolare il livello di inefficienza di una determinata unità di produzione. Nel caso specifico, si tratterà di ottenere una frontiera con le città che presentano la migliore accessibilità all'interno dell'Unione Europea. In questo caso le città che presentano un indicatore di accessibilità DEA uguale all'unità corrispondono a quelle città che hanno una migliore accessibilità globale rispetto alle altre città della UE.

Nel modello (4.1) X e Y sono le matrici degli indicatori di accessibilità che agiscono come input e output rispettivamente. Per l'unità o , che nel nostro caso corrisponde ad una città, le sue matrici sono X_o e Y_o , mentre i parametri

¹ Tale definizione (Farrell, 1957) risulta essere relazionata con quella di efficienza di Pareto-Koopmas. L'unità o – che rappresenta nella presente applicazione una qualsiasi delle ottantotto città considerate – si ritiene completamente efficiente se *ogni* variazione potrebbe nuocere ad *almeno uno* dei soggetti coinvolti – intesi come valori degli indicatori parziali.

ϕ e λ si calcolano a partire dal modello e rappresentano rispettivamente il livello massimo proporzionale di output che può ottenersi e la combinazione lineare che domina l'unità o . Inoltre, i parametri ε , s^+ e s^- sono rispettivamente una costante e le variabili di ampiezza del problema di programmazione lineare.

In modo formale, l'indicatore di accessibilità che si intende costruire corrisponde al seguente modello DEA con orientazione output calcolato a partire dal problema di programmazione lineare qui descritto:

$$\begin{aligned}
 \max_{\phi, \lambda, s^+, s^-} z_o &= \phi + \varepsilon \cdot \vec{1} s^+ + \varepsilon \cdot \vec{1} s^- \\
 \text{s.v.} & \\
 Y\lambda - s^+ &= \phi Y_0 \\
 X\lambda + s^- &= X_0 \\
 \vec{1} \lambda &= 1 \\
 \lambda, s^+, s^- &\geq 0
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Il modello (4.1) pone a confronto l'accessibilità di ogni città o con tutte le combinazioni lineari convesse delle restanti città o centri di attività economica.

La misura d'efficienza ottenuta può essere considerata come **L'INDICATORE SINTETICO DI ACCESSIBILITÀ**, che viene denominato indicatore di accessibilità DEA (Martín et al., 2006). L'interpretazione di questo indicatore non è così semplice come nel caso degli indicatori parziali precedentemente studiati. Esso può essere interpretato come la distanza (inversamente proporzionale) che separa ogni città dalla migliore accessibilità possibile che si presenta nell'insieme delle osservazioni.

Se si considera lo scenario per l'anno 1996 e si risolve il problema descritto in precedenza, si ottengono i valori dell'indicatore di accessibilità DEA che per costruzione è uguale o minore a uno: minore è tale valore, meno risulta accessibile una città. All'interno della Tabella 4.1 è contenuto uno stralcio della classifica, in termini di accessibilità gerarchica (utilità), derivante da tali risultati. La Tabella assegna le posizioni alle città in termini di utilità: ai valori più alti dell'indicatore corrispondono le posizioni più alte.

Osservando tali risultati riscontriamo come le città meno accessibili risultino essere quelle situate nella Penisola Iberica e nel sud Italia. Porto (0.103), La Coruña (0.121), Lisbona (0.122), Granada (0.127), Malaga (0.141) e Bari (0.143) sono le città con l'indicatore di accessibilità DEA più basso,

indicando quindi, che sono le città che hanno una peggiore accessibilità globale².

Le città europee che presentano una migliore accessibilità durante l'anno 1996 sono: Valenciennes (0.909), Bruxelles (1), Lille (1), Londra (1) e Parigi (1). Le città di Bruxelles, Lille, Londra e Parigi occupano una posizione d'indifferenza per quanto riguarda l'accessibilità. Da questo punto di vista sono le città che formano la frontiera dell'analisi dei nostri dati. Queste città si caratterizzano per avere una posizione centrale e sono ottimamente collegate alla linea di alta velocità europea.

Tabella 4.1 Ordinamento – in termini di utilità – risultante dalla metodologia DEA (anno 1996)

CITTÀ		CITTÀ		CITTÀ	
1	<i>Porto</i>	21	<i>Genova</i>	58	<i>Frankfurt</i>
2	<i>La-Coruña</i>	...	...	...	...
3	<i>Lisbona</i>	29	<i>Torino</i>	68	<i>Duisburg</i>
4	<i>Granada</i>	30	<i>Kiel</i>	69	<i>Birmingham</i>
5	<i>Malaga</i>	31	<i>Roma</i>	...	...
6	<i>Bari</i>	...	...	75	<i>Manchester</i>
7	<i>Bilbao</i>	34	<i>Madrid</i>	76	<i>Sheffield</i>
8	<i>Napoli</i>	35	<i>Milano</i>	77	<i>Koln</i>
...
15	<i>Firenze</i>	42	<i>Zurich</i>	84	<i>Valenciennes</i>
...	...	...	...	85	<i>Bruxelles</i>
18	<i>Nice</i>	45	<i>Munchen</i>	86	<i>Lille</i>
19	<i>Bologna</i>	...	...	87	<i>Londra</i>
...	...	50	<i>Amsterdam</i>	88	<i>Parigi</i>

Analizzando successivamente la situazione dello scenario dell'anno 2005 non si osservano differenze significative – rispetto allo scenario 1996 – nell'insieme delle città di maggiore o minore accessibilità; esistono tuttavia alcune piccole variazioni riguardanti le posizioni individuali delle città (Tabella 4.2). Di fatto le città della Penisola Iberica e del sud Italia continuano a presentare gli indicatori di accessibilità più bassi. Per quanto concerne le città portoghesi, Porto (0.109) e Lisbona (0.117), risultano essere le città meno accessibili d'Europa. In particolare nel 2005 si riscontra un cambio di posizione tra le città di La Coruña e Lisbona.

² All'interno delle parentesi è indicato il valore dell'indicatore di accessibilità DEA.

Osservando la situazione italiana si può notare come la maggior parte delle città perdano posizioni. Nei casi di Firenze (0.252), Genova (0.279) e Torino (0.301) queste perdono una sola posizione; Bologna (0.270) resta nella stessa posizione; Roma (0.305), Milano (0.335) e Bari (0.134) ne perdono due; solo Napoli (0.211) riesce a migliorare, guadagnando una posizione³. Nuovamente le città che presentano l'indicatore di accessibilità maggiore sono le città del centro Europa ben connesse alla rete ad alta velocità ferroviaria. Concretamente le città più accessibili in questo scenario sono Koln (0.982), preceduta da Wiesbaden-Mainz, Francoforte, Lille e Parigi le quali presentano il massimo valore pari a 1.000.

Tabella 4.2 Ordinamento – in termini di utilità –risultante dalla metodologia DEA (anno 2005)

	CITTÀ		CITTÀ		CITTÀ
1	<i>Porto</i>	29	<i>Roma</i>	...	...
2	<i>Lisbona</i>	...	...	69	<i>Amsterdam</i>
3	<i>La-Coruña</i>	33	<i>Milano</i>	...	...
4	<i>Bari</i>	...	...	76	<i>Londra</i>
...	...	36	<i>Madrid</i>	77	<i>Valenciennes</i>
9	<i>Napoli</i>	...	...	...	...
10	<i>Bilbao</i>	40	<i>Saint Etienne</i>	80	<i>Duisburg</i>
...	...	41	<i>Liverpool</i>	...	...
14	<i>Firenze</i>	42	<i>Ginevra</i>	83	<i>Bruxelles</i>
...	...	43	<i>Manchester</i>	84	<i>Koln</i>
19	<i>Bologna</i>	...	...	85	<i>W.-Mainz</i>
20	<i>Genova</i>	48	<i>Birmingham</i>	86	<i>Frankfurt</i>
...	...	...	...	87	<i>Lille</i>
28	<i>Torino</i>	52	<i>Zurich</i>	88	<i>Parigi</i>

Di sicuro interesse è notare la perdita d'accessibilità relativa che si verifica nelle città di Londra (0.887) e Bruxelles (0.981), visto che queste città perdono la loro condizione di massima accessibilità che avevano nel 1996. Questa può essere considerata una conseguenza del forte piano d'investimenti attuato in Germania, azione che produce uno spostamento verso est della zona centrale europea allontanando città tradizionalmente centripete quali Londra e Bruxelles.

³ Si noti come le città italiane siano comprese, nella graduatoria in termini di utilità gerarchica illustrata nella Tabella 4.2, tra la 33° posizione ottenuta da Milano (miglior risultato) e la 4° posizione assegnata a Bari.

I risultati che riguardano lo scenario riferito all'anno 2015 non evidenziano sostanziali variazioni nella graduatoria (Tabella 4.3). Tuttavia, tra le città che presentano i valori di accessibilità inferiori è interessante notare come, grazie alla realizzazione dell'allacciamento Madrid-Lisbona, le città portoghesi cedano l'aggettivo di città meno accessibili a città spagnole come Granada e La Coruña. In questo scenario Granada (0.151), La Coruña (0.153), Malaga (0.174), Porto (0.188), Bari (0.206) e Murcia (0.208) sono le città europee che risultano essere meno accessibili. Le città italiane riescono, nella quasi totalità dei casi, a migliorare la loro situazione. Unica città che perde posizioni è Roma (0.338), la quale presenta lo stesso valore in termini di accessibilità relativa dell'anno 1996⁴; tuttavia, in relazione ai miglioramenti delle altre città del campione, Roma perde otto posizioni, assestandosi al 20° posto. Milano (0.582), Torino (0.546) e Genova (0.391) sono le città che mostrano i più alti punteggi, migliorando rispettivamente di quindici, quattordici e dodici posizioni la loro graduatoria. Firenze (0.332) guadagna otto posizioni, Bologna (0.356) sette, Napoli (0.241) e Bari (0.206) rispettivamente una e due⁵.

Tabella 4.3 Ordinamento – in termini di utilità – risultante dalla metodologia DEA (anno 2015)

	CITTÀ		CITTÀ		CITTÀ
1	<i>Granada</i>	...	...	64	<i>Munchen</i>
2	<i>La-Coruña</i>	25	<i>Wien</i>	65	<i>Amsterdam</i>
3	<i>Malaga</i>	26	<i>Bologna</i>	...	...
4	<i>Porto</i>	...	...	68	<i>London</i>
5	<i>Bari</i>	33	<i>Genova</i>	...	...
6	<i>Murcia</i>	...	...	70	<i>Basel</i>
...	...	42	<i>Torino</i>	...	...
11	<i>Napoli</i>	...	...	80	<i>Bruxelles</i>
...	...	49	<i>Milano</i>	...	...
17	<i>Firenze</i>	50	<i>Birmingham</i>	86	<i>Frankfurt</i>
...	...	...	...	87	<i>Lille</i>
20	<i>Roma</i>	60	<i>Zurich</i>	88	<i>Parigi</i>

⁴ Valore all'interno delle parentesi.

⁵ Ad ulteriore chiarimento della situazione italiana riassumiamo le posizioni (in termini utilità gerarchica) delle otto città considerate: Bari 5°, Napoli 11°, Firenze 17°, Roma 20°, Bologna 26°, Genova 33°, Torino 42°, Milano 49°. Risultati che ripropongono una situazione di svantaggio per le città più distanti dal centro-Europa.

Anche per quanto concerne le città più accessibili, lo scenario 2015 non offre variazioni sostanziali rispetto allo scenario 2005. Francoforte, Lille e Parigi (1.000) risultano essere di nuovo le città più accessibili d'Europa, grazie alle connessioni strutturali in via di realizzazione e alla loro posizione centrale nell'attività economica dell'Unione Europea. Solo la città di Wiesbaden-Mainz non conferma il massimo valore possibile, l'unità; tuttavia essa vi si avvicina fortemente presentando un punteggio pari a 0.966.

4.2 La metodologia PCA: teoria e risultati empirici

L'Analisi delle Componenti Principali (PCA) è una metodologia appartenente alla statistica multivariata volta a semplificare o ridurre la dimensione di una tavola di casi-variabili, contenente dati quantitativi, al fine di ottenerne una composta da un minor numero di variabili, combinazione lineare delle precedenti. Il set di combinazioni lineari delle misurazioni originarie, viene definito componenti principali o fattori. Tali componenti permettono un'analisi più semplice del problema studiato, in quanto sono tra loro non correlate ed ordinate in modo tale che la prima componente sintetizza la quota massima possibile della variabilità totale.

L'obiettivo in questo ambito è pertanto quello di pervenire ad un indicatore sintetico dei tre indicatori di accessibilità che – attraverso l'analisi PCA – possa minimizzare la perdita d'informazione conseguente a tale sintesi.

Nella nostra indagine disponiamo di un campione di ampiezza $n=88$ (le città prese in considerazione) descritto da $p=3$ variabili (gli indicatori); la matrice dei dati avrà dimensioni $(n \times p)$ e gli n punti potranno essere rappresentati in uno spazio a p dimensioni. La formulazione delle componenti principali è basata sull'idea che i valori delle variabili originarie X_i siano determinati da un più ristretto insieme, $k \leq p$, di variabili tra loro indipendenti, Z_1, Z_2, \dots, Z_p che siano combinazione lineare delle variabili iniziali e che spieghino la maggior parte della loro variabilità.

Tali combinazioni lineari, del tipo:

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + \dots + a_{1i} X_i + \dots + a_{1p} X_p \\
 &\dots \\
 Z_k &= a_{k1} X_1 + a_{k2} X_2 + \dots + a_{ki} X_i + \dots + a_{kp} X_p \\
 &\dots \\
 Z_p &= a_{p1} X_1 + a_{p2} X_2 + \dots + a_{pi} X_i + \dots + a_{pp} X_p
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

vengono denominate *componenti principali* e devono soddisfare i seguenti requisiti:

- Non devono essere correlate $Cov(Z_{k'}, Z_k) = 0 \forall k' \neq k$
- Devono essere ordinate in virtù dell'ammontare della variabilità complessiva che ognuna di esse può spiegare

$$V(Z_1) \geq V(Z_2) \geq \dots \geq V(Z_k) \geq \dots \geq V(Z_p)$$

Inoltre, la variabilità complessiva dei due diversi sistemi di riferimento deve coincidere:

$$\sum_{k=1}^p V(Z_k) = \sum_{i=1}^p V(X_i)$$

Si ottengono in questo modo componenti principali, Z_k , che non corrispondono a caratteristiche ben osservabili, e vanno quindi interpretate. Essendo inoltre le variabili X_i tra loro correlate, il sistema risulterà essere ridondante e non saranno quindi necessarie tutte le componenti principali per riassumere adeguatamente i dati; in generale come, già anticipato, le prime k , con $k < p$, saranno sufficienti, qualora garantiscano un sufficiente contenuto informativo (Mignani e Montanari, 1994).

L'importanza di ogni componente in termini di variabilità “*spiegata*” all'interno del sistema si misura con il rapporto:

$$\frac{V(Z_k)}{\sum V(Z_k)} = \frac{l_k}{\sum l_k} \quad (4.3)$$

Moltiplicando per cento il risultato ottenuto, si ottiene la percentuale di varianza complessiva espressa dalla k -esima componente.

Ai fini della scelta di k , vale a dire del numero minimo di componenti principali sufficienti per ottenere una descrizione sintetica della matrice dei dati possiamo utilizzare tre criteri:

- Fissare un limite inferiore, q (ad esempio, $q = 0,9$), alla quota di varianza spiegata dalle prime k componenti, Q_k ,

$$Q_k = \frac{\sum_{h=1}^k \lambda_h}{\sum_{h=1}^p \lambda_h}$$

Scegliendo k in modo tale che $Q_k \geq q$.

- Il grafico degli autovalori rispetto al numero d'ordine della componente viene denominato *scree plot*; si sceglie k in corrispondenza del quale il grafico presenta un gomito (*elbow*).
- Criterio di Kaiser: se si è proceduto alla standardizzazione delle variabili originarie, la varianza totale è: $\text{tr}(R) = p$, per cui il criterio di Kaiser equivale a scegliere un numero di componenti pari al numero di autovalori superiori all'unità.

È risultato opportuno determinare le componenti principali⁶ non già sulle variabili originarie bensì sulle corrispondenti variabili standardizzate, perché le variabili originarie differiscono per unità di misura e presentano variabilità notevolmente diversa.

Gli output, riguardanti i tre orizzonti temporali considerati (1996, 2005 e 2015), visualizzano le statistiche descrittive, nonché una misura di adeguatezza campionaria: il test di Kaiser Meyer Olkin (KMO). Il test KMO rappresenta un indice normalizzato che mette a confronto l'entità complessiva dei coefficienti di correlazione semplice r_{ij} tra ogni coppia X_i e Y_j di variabili e quella dei corrispondenti coefficienti di correlazione parziale⁷ $r_{ij \text{ rest}}$ rese costanti tutte le altre variabili: quanto più tale indice si avvicina all'unità tanto più il modello può essere ritenuto adeguato ai dati⁸. La misura di Kaiser-Meyer-Olkin per i vari anni è risultata essere pari a: 0.725 (anno 1996), 0.734 (anno 2005) e 0.775 (anno 2015). Essa indica un livello più che accettabile di adeguatezza del modello fattoriale ai dati.

La scelta di k , vale a dire del numero minimo di componenti principali sufficienti per ottenere una descrizione sintetica della matrice dei dati, è coincisa, seguendo le direttive precedentemente descritte, per i tre anni analizzati, con la prima componente principale. L'unica componente estratta può essere quindi considerata come una media aritmetica ponderata dei vari indici e può essere letta come **L'INDICATORE DEL LIVELLO GENERALE DI ACCESSIBILITÀ**.

All'interno delle tabelle 4.4, 4.5 e 4.6 – contenenti rispettivamente i risultati della metodologia PCA per gli anni 1996, 2005 e 2015 – sono indicate le posizioni delle città, in termini di accessibilità (utilità gerarchica). Questa ultima classifica assegna le posizioni alle città in termini di utilità: ai valori più alti dell'indicatore corrispondono le posizioni più alte.

Per l'anno 1996 la classifica delle ottantotto città ordinate secondo questa metodologia (Tabella 4.4) rispecchia valori compresi tra -3.588 calcolato per Porto, considerata quindi la città meno accessibile, e 4.567 ottenuto da Parigi che ottiene la posizione migliore in termini di accessibilità superando Londra (3.365)⁹. Osservando più dettagliatamente i risultati, possiamo notare come le città meno accessibili risultino essere quelle appartenenti alla Penisola Iberica

⁶ Al fine di ottenere ed analizzare le componenti principali è stato utilizzato il pacchetto statistico SPSS per windows, che presenta una procedura specifica per l'analisi dei fattori, all'interno della quale è inclusa un'opzione che prevede l'impiego del metodo delle componenti principali per estrarre tali fattori.

⁷ $\text{rest}=\{1, \dots, i-1, i+1, \dots, j-1, j+1, \dots, p\}$.

⁸ Valori di questo indice compresi tra 0.9 e 1 sono da considerarsi *marvellous*; tra 0.8 e 0.9 *meritorius*; tra 0.7 e 0.8 *midling*; tra 0.6 e 0.7 *mediocre*; tra 0.5 e 0.6 *miserable*; e al di sotto di 0.5 *unacceptable*.

⁹ I valori cardinali indicati all'interno delle parentesi sono quelli ottenuti implementando la metodologia PCA.

e all'Italia del sud: Porto (-3.588), Lisbona (-3.554), La Coruña (-3.278), Granada (-3.118), Malaga (-3.076) e Bari (-2.847). Al contrario, le città più accessibili risultano essere: Parigi (4.567), Londra (3.365), Lille (2.978) e Bruxelles (2.646), città situate nell'Europa centrale. Per quanto riguarda le città italiane i dati ottenuti sono: Bari (-2.847), Napoli (-1.848), Firenze (-1.000), Bologna (0.856), Roma (-0.826), Torino (-0.749), Genova (-0.743) e Milano (-0.274), dati che mostrano valori molto bassi dell'accessibilità così ottenuta.

Tabella 4.4 Ordinamento – in termini di utilità – risultante dalla metodologia PCA (anno 1996)

CITTÀ		CITTÀ		CITTÀ	
1	<i>Porto</i>	30	<i>Torino</i>	70	<i>Dortmund</i>
2	<i>Lisbona</i>	31	<i>Genova</i>	...	...
3	<i>La-Coruña</i>	...	...	75	<i>Dusseldorf</i>
4	<i>Granada</i>	35	<i>Milano</i>	76	<i>Duisburg</i>
5	<i>Malaga</i>	...	...	...	...
6	<i>Bari</i>	40	<i>Munchen</i>	80	<i>Rotterdam</i>
...	...	41	<i>Nurnberg</i>	81	<i>Lyon</i>
8	<i>Napoli</i>	42	<i>Zurich</i>	...	...
...	...	...	...	84	<i>Valencienne</i>
21	<i>Firenze</i>	57	<i>Manchester</i>	85	<i>Bruxelles</i>
...	...	58	<i>Amsterdam</i>	86	<i>Lille</i>
27	<i>Bologna</i>	...	...	87	<i>Londra</i>
28	<i>Roma</i>	69	<i>Frankfurt</i>	88	<i>Parigi</i>

Osservando i risultati della metodologia PCA concernenti l'anno 2005 (Tabella 4.5) si può notare come le città meno accessibili risultino essere quelle appartenenti alla Penisola Iberica e all'Italia del sud: Lisbona (-3.819), Porto (-3.566), Bari (-3.158), La Coruña (-3.125) e Granada (-3.011). Al contrario, le città più accessibili risultano essere: Parigi (3.562), Lille (2.578), Bruxelles (2.522), Koln (2.394), Aachen (1.860) e Francoforte (2.297) città situate nel centro Europa. È interessante confrontare i risultati ottenuti con quelli concernenti l'anno 1996 e notare come le città tedesche e francesi siano nuovamente quelle di maggiore accessibilità. Per quanto riguarda le città italiane sembra che il minor numero d'interventi infrastrutturali orientati al collegamento con gli altri paesi della UE, rispetto ad altre situazioni come quella spagnola o tedesca che investono maggiormente in tale ambito, provochi un netto peggioramento in termini di accessibilità relativa: Roma (-1.495), ad esempio, perde ben dodici posizioni.

Tabella 4.5 Ordinamento – in termini di utilità – risultante dalla metodologia PCA (anno 2005)

	CITTÀ		CITTÀ		CITTÀ
1	<i>Lisbona</i>	21	<i>Bologna</i>	58	<i>Amsterdam</i>
2	<i>Porto</i>	...	...	...	...
3	<i>Bari</i>	23	<i>Genova</i>	72	<i>Stuttgart</i>
4	<i>La-Coruña</i>	...	...	...	...
5	<i>Granada</i>	25	<i>Torino</i>	76	<i>Valencienne</i>
...
8	<i>Napoli</i>	29	<i>Madrid</i>	82	<i>London</i>
...	...	30	<i>Milano</i>	83	<i>Frankfurt</i>
15	<i>Roma</i>	...	...	...	...
...	...	41	<i>Munchen</i>	86	<i>Bruxelles</i>
18	<i>Firenze</i>	...	...	87	<i>Lille</i>
...	...	53	<i>Zurich</i>	88	<i>Parigi</i>

All'interno della Tabella 4.6 è infine riassunta la classifica delle ottantotto città ordinate secondo i risultati PCA relativi all'anno 2015. Tale ordinamento gerarchico rispecchia valori compresi tra -3.857 assegnato a Granada, e 3.616 attribuito a Parigi. In questa classifica si può osservare come non ci siano variazioni significative per quanto riguarda le città con maggiore accessibilità: Parigi (3.616), Lille (2.475), Bruxelles (2.331) e Francoforte (2.238).

Tabella 4.6 Ordinamento – in termini di utilità – risultante dalla metodologia PCA (anno 2015)

	CITTÀ		CITTÀ		CITTÀ
1	<i>Granada</i>	21	<i>Bologna</i>	74	<i>London</i>
2	<i>La-Coruña</i>	...	...	...	...
3	<i>Malaga</i>	30	<i>Milano</i>	85	<i>Koln</i>
...	...	...	...	85	<i>Frankfurt</i>
8	<i>Napoli</i>	48	<i>Berlin</i>	86	<i>Bruxelles</i>
...	...	...	...	87	<i>Lille</i>
15	<i>Roma</i>	67	<i>Amsterdam</i>	88	<i>Parigi</i>

Variazioni significative interessano invece le città portoghesi, probabilmente grazie alla prevista realizzazione della linea ferroviaria ad alta velocità Madrid-Lisbona, Quest'ultime infatti cedono l'aggettivo di città

meno accessibili d'Europa alle seguenti città spagnole: Granada (-3.857), La Coruna (-3.806) e Malaga (-3.463).

5. Confronto fra i risultati e conclusioni

I risultati ottenuti attraverso le due metodologie sono stati confrontati al fine di stabilire se esista una corrispondenza tra le due misure d'accessibilità generale ottenute. A tal fine è stato utilizzato il concetto di *connessione statistica*, ossia quel particolare aspetto delle relazioni tra caratteri associati, che va dall'indipendenza distributiva – *connessione nulla* – alla relazione “uno ad uno” – *connessione massima*.

Con riferimento alla presente applicazione empirica, si è analizzata la *n-pla* statistica bivariata formata dalla successione di coppie di cifre, ossia gli stati di grandezza assunti simultaneamente nelle *n* unità statistiche – le ottantotto città del campione considerato – da due caratteri quantitativi, descritti dalle variabili *X* e *Y*, rispettivamente indicatore DEA e indicatore PCA. Sono stati considerati anziché i valori cardinali osservati dalle due variabili, i numeri d'ordine di tali valori nelle graduatorie ordinate delle variabili stesse.

In questa situazione, e ovunque si preferisca attribuire alle determinazioni quantitative dei caratteri il significato di valutazioni graduali più che di vere e proprie misure, occorrono particolari strumenti denominati “*indici di cograduazione*”, o di “*correlazione ordinale*” (Scardovi e Monari, 1992).

Nella presente applicazione è stato implementato l'*indice quadratico di cograduazione* (dovuto a Spearman) formulato così:

$${}^2G = 1 - \frac{6 \sum_j (g_{x_j} - g_{y_j})^2}{n(n^2 - 1)} . \quad (5.1)$$

In particolare il calcolo dell'*indice quadratico di cograduazione* (Spearman) ha offerto i seguenti risultati:

- ${}^2G=0.961$ per il 1996 ed è significativo al livello $\alpha=0.01$.
Il test *t* risulta uguale a 45.1;
- ${}^2G=0.988$ per l'anno 2005 significativo a livello $\alpha=0.01$.
Il test *t* risulta, infatti: 83.6;
- ${}^2G=0.991$ per il 2015. è significativo al livello $\alpha=0.01$.
Il test *t* risulta pari a 96.8.

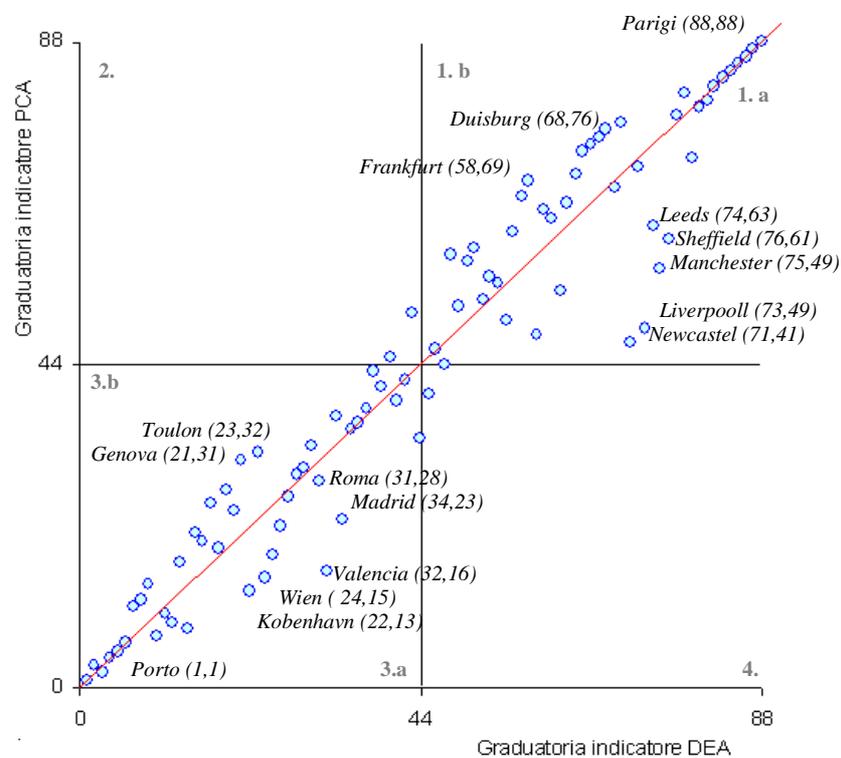
Ciò ha permesso di rifiutare, per i tre scenari considerati, l'ipotesi (H_0) di assenza di cograduazione tra gli indicatori DEA e PCA nelle classifiche di accessibilità per le città del campione.

Una volta calcolato l'indice quadratico di cograduazione, si è proceduto ad analizzare la rappresentazione grafica della variabile statistica doppia nel

piano bidimensionale (Grafico 5.1 per l'anno 1996; Grafico 5.2 per l'anno 2005 e Grafico 5.3 per l'anno 2015).

Tali rappresentazioni nel piano raffigurano un insieme di punti, che corrispondono ciascuno ad una delle ottantotto città del campione definite dalla coppia di coordinate: $X \rightarrow$ graduatoria secondo l'indicatore DEA, e $Y \rightarrow$ graduatoria secondo l'indicatore PCA. Nel caso in cui le graduatorie ottenute con le due differenti metodologie coincidano, i punti rappresentati nel grafico sarebbero tutti disposti lungo la retta inclinata di 45° (ossia $X = Y$).

Grafico 5.1 Rappresentazione geometrica delle graduatorie di accessibilità DEA e PCA per l'anno 1996

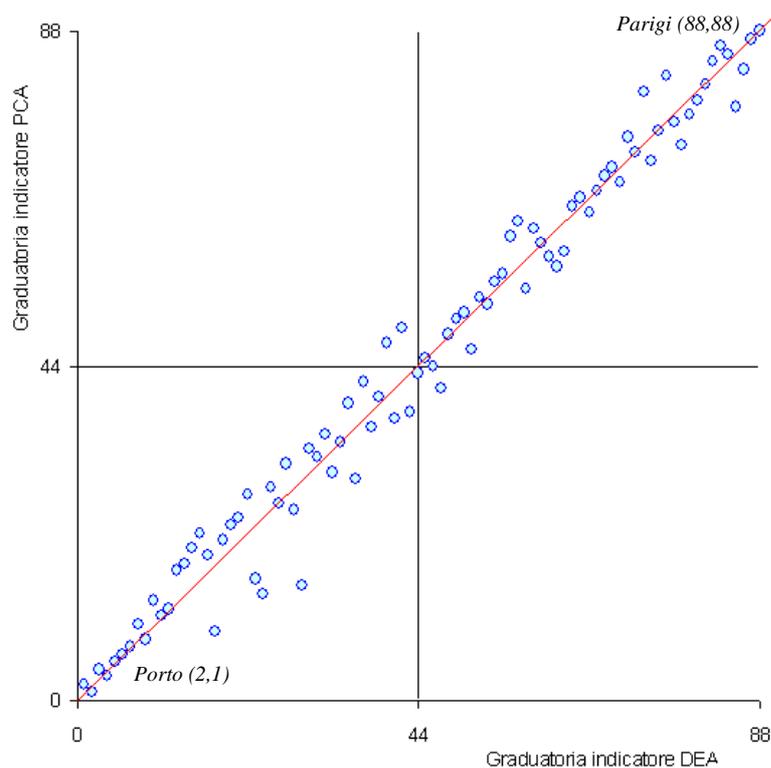


In tale visualizzazione grafica risulta pertanto interessante l'identificazione e l'analisi dei punti che si discostano fortemente dalla retta inclinata di 45° : tali punti rappresentano le città che evidenziano maggiori differenze nel caso

in cui sia considerata la classifica ottenuta sulla base dell'indicatore DEA, piuttosto che quella derivata dall'indicatore PCA.

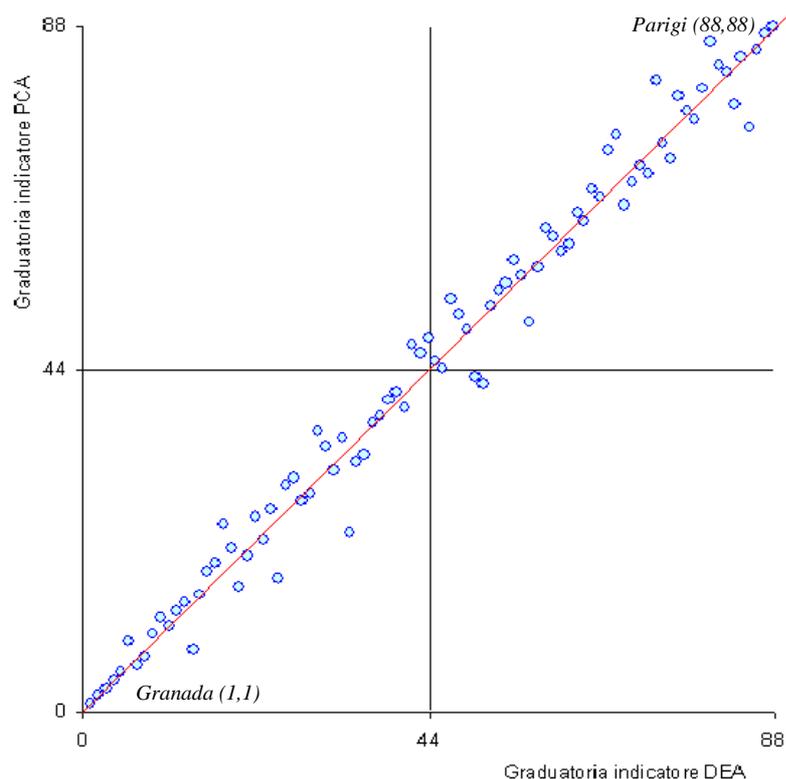
Chiaramente le città posizionate sopra la retta inclinata di 45° sono quelle che presentano valori più elevati – in termini di accessibilità gerarchica – risultanti dalla metodologia PCA rispetto a quelli emergenti dalla metodologia DEA. Viceversa, i punti situati sotto tale retta rappresentano le città che mostrano punteggi più alti secondo la metodologia DEA rispetto a quelli risultanti dalla metodologia PCA. In particolare, osservando i risultati ottenuti, pare che la metodologia PCA attribuisca maggiore importanza all'indicatore del potenziale economico, mentre la metodologia DEA sembra prediligere gli indicatori di localizzazione e di accessibilità diaria.

Grafico 5.2 Rappresentazione geometrica delle graduatorie di accessibilità DEA e PCA per l'anno 2005



Per quanto concerne l'anno 1996 (Grafico 5.1), si può notare come sia le città di Duisburg e Frankfurt (Quadrante 1.b) che le città di Toulon e Genova (Quadrante 3.b) si discostino dalla situazione di cograduazione, evidenziando valori più elevati nell'indicatore del potenziale economico (maggiormente pesato dalla metodologia PCA) rispetto ai valori degli indicatori di localizzazione e di accessibilità diaria (maggiormente pesati dalla metodologia DEA). Anche le città di Leeds, Sheffield, Manchester, Liverpool e Newcastle (Quadrante 1.a), nonché le città di Madrid, Roma, Valencia, Wien e Kobenhaven (Quadrante 3.a), si discostano notevolmente dalla situazione di cograduazione: posizionandosi tuttavia queste città sotto la retta a 45°, esse mostrano valori di sintesi in cui gli indicatori di localizzazione ed accessibilità diaria sembrano prevalere rispetto all'indicatore di potenziale economico.

Grafico 5.3 Rappresentazione geometrica delle graduatorie di accessibilità DEA e PCA per l'anno 2015



Si può inoltre notare che, per quanto concerne gli scenari successivi relativi agli anni 2005 e 2015, le precedenti differenze tra le graduatorie delle ottantotto città europee – emergenti dai risultati delle due metodologie per l’anno 1996 – si elidono, mostrando una raggiunta omogeneità tra gli indicatori (Grafici 5.2 e 5.3), come si poteva anche prevedere osservando gli elevati valori dell’indice quadratico di cograduazione per gli anni 2005 e 2015. Tale risultato finale individua un raggiunto equilibrio – nelle ottantotto città europee – tra potenziale economico, localizzazione ed accessibilità diaria, a seguito degli interventi infrastrutturali programmati per gli anni 2005 e 2015.

Concludendo, alla luce dell’analisi di cui sopra si possono sinteticamente sottolineare i seguenti punti: a) l’accessibilità è un concetto che comprende sfaccettature diverse e le cui caratteristiche non sono sempre facilmente sintetizzabili; b) lo studio dell’accessibilità attraverso gli indicatori parziali può portare a risultati a volte difforni tra loro. Al fine pertanto di identificare un indicatore univoco della funzione accessibilità sono state considerate ed applicate – nel presente lavoro – due tipologie di analisi multidimensionale, quali la metodologia DEA e la metodologia PCA. Tali tecniche hanno mostrato ottime potenzialità al fine di ottenere una misura globale, facilmente interpretabile e tale da offrire un’analisi sintetica dell’impatto – in termini di accessibilità – dovuto alla realizzazione di nuove infrastrutture nella rete europea dei trasporti. Entrambe le misure ottenute riescono, infatti, a superare il limite di eventuali risultati conflittuali emergenti dagli indicatori parziali e ad analizzare l’accessibilità di una regione e/o area urbana considerando simultaneamente più variabili.

Riferimenti Bibliografici

- Bruinsma, F.R. e Rietveld, P. (1998), “The accessibility of European cities: theoretical framework and comparison approaches”, *Environment and planning A*, 30: 449-521.
- Farrel, M.J. (1957), “The measurement of productive efficiency”, *Journal of royal statistics society, Series A*, 120: 253–281.
- Gutiérrez, J. (2001), “Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border”, *Journal of transport geography*, 9: 229-242.
- Gutiérrez, J. e Jaro, L. (1999), “Impacto de la nueva línea de alta velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa en la accesibilidad del sistema de ciudades español”, *Estudios de construcción, transporte y comunicaciones* 85: 51-85.

- Leonardi, G. (1978), "Optimum facility location by accessibility maximizing", *Environment and planning A*, 10: 1287-305.
- Leonardi, G. (1981), A general accessibility and congestion-sensitive multiactivity spatial interaction model, *Papers of the regional science association*, 47: 3-16.
- Mignani, S. e Montanari, A. (1994), *Appunti di analisi statistica multivariata*. Esculapio. Bologna.
- Martín, J. C., Gutiérrez, J. e Román C. (2004), "Data Envelopment Analysis (DEA) index to measure the accessibility impacts of new infrastructure investments: the case of the high-speed train corridor Madrid-Barcelona-French border", *Regional Studies*, 38: 697-712.
- Martín, J. C., Gutiérrez, J. e Román, C. (2006), "Accessibility impacts of the Trans-European railway network, in Van Geenhuizen M., Reggiani A e Rietveld P. (eds.), *Policy analysis for transport networks*, Ashgate, Aldershot (in corso di stampa).
- Orellana-Pizarro, H. (1994), *Evaluacion de las infraestructuras de transporte y sus efectos sobre el desarrollo regional mediante la aplicacion de indicadores de accesibilidad*. (PhD thesis), Universidad Politecnica de Madrid, Madrid.
- Reggiani, A. (1998), "Accessibility, trade and location behaviour: an introduction", in Reggiani, A. (ed.), *Accessibility, trade and location behaviour*, Aldershot, Ashgate, 1-16.
- Scagnolari, S. (2005), "Accessibilità e trasporti: sviluppi metodologici ed empirici con riferimento all'introduzione della linea ad alta velocità in Europa" (tesi di laurea), Facoltà di Scienze Statistiche, Università di Bologna, Bologna.
- Scardovi, I. e Monari, A. (1992), "Metodologia statistica in biologia e medicina", UTET, Torino.
- Vickerman, R. W. (1995), "Regional impacts of Trans-European networks", *Annals of regional science*, 29: 237-254.