

*Urban Configuration Impact on Land Market:  
a GWR Approach*

# L'INCIDENZA DELL'INSEDIAMENTO URBANISTICO SUL MERCATO FONDIARIO: UN APPROCCIO GWR

*Konstantinos Lykostratis<sup>a</sup>, Maria Giannopoulou<sup>a</sup>, Anastasia Roukouni<sup>b</sup>*

*<sup>a</sup>Scuola di Ingegneria Civile, Democritus Università di Tracia Campus Xanthi-Kimmeria, 67100 Xanthi, Grecia*

*<sup>b</sup>Facoltà di Tecnologia, Politica e Management Università tecnologica di Delft, Jaffalaan 5, 2628 BX Delft, Paesi Bassi*

*klykostr@civil.duth.gr*

## Abstract

Accessibility is one of the most influential factors defining land value. Different accessibility measures have been proposed as indicators of the location of the property. Space Syntax, a well-known theory for the quantification of the urban grid structure, provides measures of centrality based on the network concept, which has not gained much attention yet in land value literature. Studying the procedures related to the land market through classic OLS regression models often fails to count for the spatial aspects of such kind of phenomena, which have a crucial role in their comprehension and differentiations. In the research presented herein, the GWR model, a spatial statistics extension of the classic regression model allowing local parameter differentiation, is adopted and geometric accessibility indicators (integration and choice) defined by Space Syntax are employed, in order to assess their impact on objective land values. The methodology is applied to Xanthi, a medium sized city in Northern Greece, revealing both patterns of spatial accessibility impact on the local level and the accessibility radius in which land values can be better interpreted.

**KEY WORDS:** *Accessibility, Space Syntax, GWR, Objective Land Value.*

## 1. Introduzione e premessa

Il rapporto tra accessibilità e valore dei suoli è ben noto. Dalla teoria della localizzazione e dal modello di von Thunen, ai modelli di città monocentrici e policentrici [1, 2, 3], e alla teoria basata sulle attrattività [4], l'accessibilità come misura della localizzazione determinata di una proprietà [5] è un importante parametro di definizione di economia urbana e qualità della vita [6, 7], spesso utilizzata nella geografia umana [8].

Recentemente, vi è stato un crescente interesse verso le statistiche che computano gli aspetti spaziali di fenomeni come il mercato fondiario [9]. Aver contezza di questi aspetti spaziali ha un ruolo cruciale nella comprensione di tale categoria di fenomeni e delle loro differenziazioni [10].

L'accessibilità è difficile da definire e misurare [11, 12] poiché riassume valutazioni di centralità basate sulla teoria delle reti e dei grafi. Uno di questi approcci è basato sulla teoria Spazio Sintattico (Space Syntax theory).

L'accessibilità come trattata attraverso la teoria dello Spazio Sintattico è anche nota come accessibilità spaziale [13] o una particolare casistica di accessibilità geometrica differente dalle valutazioni classiche (accessibilità geografica) per come sopra espresso [14]. La teoria Spazio-sintattica [15] è stata sviluppata attraverso un set di strumenti per analizzare le relazioni fra strutture e funzioni delle città.

Secondo la teoria dei movimenti naturali [16] la disposizione degli spazi aperti determina la mobilità delle persone o la comprensione dello spazio [17]. La disposizione degli spazi aperti forma la griglia urbana, viene rappre-

sentata attraverso una mappa assiale e poi viene convertita in un grafo assiale, in ultimo interpretata attraverso la teoria dei grafi [18].

Le valutazioni centrali prodotte attraverso la quantificazione dell'accessibilità attraverso il grafo per ogni settore della rete o delle relazioni attraverso un segmento della rete verso tutti gli altri settori, sono integrazione e scelta. Le valutazioni di integrazione si intendono la maggiore profondità (profondità qui deve essere intesa come numero di linee di viaggio che partono dalla linea di partenza verso la linea di destinazione) di un settore verso ogni altro settore della rete [19].

Quindi, una linea assiale è altamente integrata quando può essere facilmente raggiunta da altre linee della rete, facendo dell'integrazione una valutazione dell'accessibilità della linea [20].

La scelta valuta il livello di partecipazione di una linea in tutti i più brevi percorsi fra tutte le linee della rete [20]. Hillier e Vaughan [21] sintetizzano tre concetti di viaggio: topologico (basato sui cambi più rapidi), geometrico (basato sul minimo cambio di gradiente) e metrico (basato sulla distanza più breve). Le relazioni di rete sono basate su topologia e geometria [21] e direzione [20].

Le analisi spaziali basate sulla teoria Spazio-sintattica possono essere condotte per quanto riguarda la griglia, come un completo esame delle relazioni fra ogni segmento della rete rispetto a tutti gli altri, ma possono anche essere eseguite per parti di griglia definiti in profondità (nei termini Spazio-sintattici).

Anche se di solito si ammette che i parametri di localizzazione comprendono i più influenti fattori del valore della proprietà urbana, l'accessibilità geometrica che quantifica la morfologia urbana ha ottenuto poca attenzione nella letteratura del valore fondiario [22] nonostante il fatto che la morfologia della griglia urbana ha un ruolo cruciale nella struttura del mercato della proprietà [23]. La ricerca su questo settore correla le valutazioni spaziali sintattiche con i valori degli affitti commerciali [23, 24] e i valori delle proprietà residenziali, rivelando attraverso modelli di regressione positiva relazioni statisticamente significative tra i prezzi delle abitazioni e l'integrazione complessiva, ma anche negative e statisticamente significative tra i prezzi delle abitazioni e la possibilità di scelta [25, 26, 27].

Corrispondenti inferenze sono immaginate per l'integrazione complessiva nei modelli di regressione nella contabilità dei livelli di tassazione delle abitazioni [28, 29]. Poiché l'integrazione locale è riferita a rapporti positivi con i valori delle costruzioni questi sono stati indicati [22, 25, 30], sebbene Chiaradia e altri [28] riferiscono risultati contrari, probabilmente dovuti a differenti esempi e a differente struttura della griglia [27].

E' degno di nota che nessun coefficiente di differenziazione è stato registrato nelle correlazioni e nei modelli di regressione applicati a differenti sub-regioni dello stesso

esempio [22, 26, 31], o perfino che entrambi i valori della scelta di valutazione, positivo e negativo, coesistano nella stessa città [43].

La regressione OSL frequentemente usata, di solito adottata per inferenze statistiche sulle variabili influenzanti un fenomeno, è largamente inefficiente nella comprensione di fenomeni spaziali dovuti alle instabilità causate dalla autocorrelazione spaziale [32, 33, 34]. Inoltre, la regressione classica assume che i coefficienti derivati dai modelli di calibrazione sono fissati attraverso l'esempio e l'area geografica [10]. Maddala [35] rileva la differenziazione dei parametri sia spazialmente che nel tempo in fenomeni geografici, come ad esempio i valori della proprietà per come sopra indicati.

Nel caso vi sia evidenza di eterogeneità spaziale, dovrebbero essere applicati metodi statistici locali [36] in modo da superare i problemi correlati al coefficiente di parzialità, ridotte le proporzioni della variazione espresse attraverso i modelli calibrati con i metodi globali, e l'autocorrelazione spaziale [37]. GWR [38, 39] estende il modello di regressione classica consentendo variazioni spaziali delle stime dei coefficienti, nonché la contabilità per le autocorrelazioni spaziali [10]. GWR viene applicata per ogni osservazione basata sulle osservazioni vicine definite dalla selezione del kernel (stabilita o adattata) in rapporto alla distribuzione osservata [10, 37, 40].



Fig. 1a - Area di studio al Volo (ENAV)

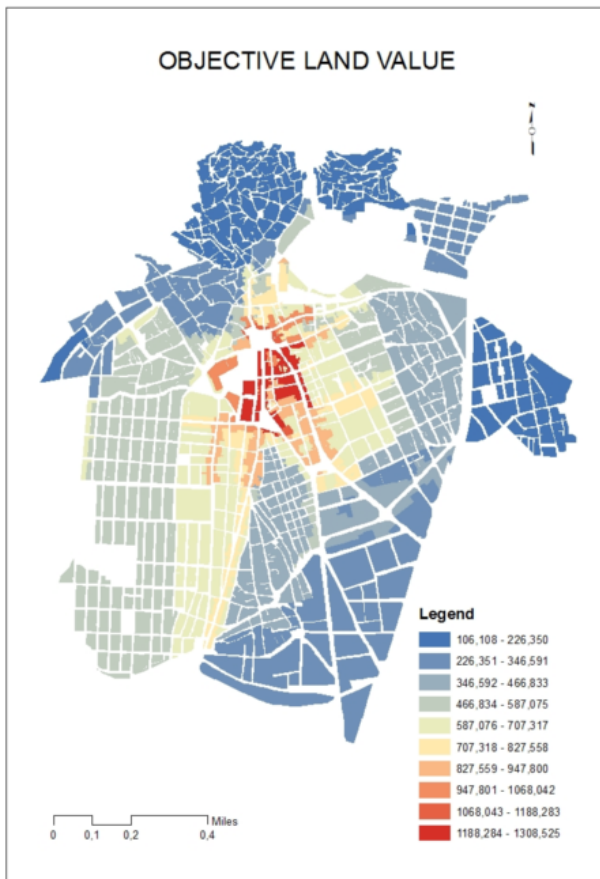


Fig. 1b - Valore oggettivo del suolo al Volo (ENAV)

## 2. Struttura metodologica e caso di studio

I dati utilizzati in questa ricerca si riferiscono a 7415 lotti di territorio coprenti l'intera città di Xanthi, una città di 55.000 abitanti nel nord della Grecia.

Il tessuto urbano (Vedi Fig. 1a) è composto da distinte sezioni con una varietà particolarmente interessante nella forma e nella diversità, che è seguita in termini generali nelle sue conseguenti estensioni: le parti tradizionali con un coerente tessuto urbano, le espansioni più recenti con una griglia rettangolare o normali geometrie con grande varietà nella dimensione dei blocchi [31].

Le porzioni che costituiscono il livello spaziale dell'analisi insieme ai blocchi formanti la griglia urbana di Xanthi sono stati modellati in ArcGIS in modo da essere collegati con i dati descrittivi necessari. Il valore obiettivo per come impostato dal Ministero delle Finanze greco, è stato scelto come valore del territorio.

In Grecia le tasse sulla proprietà e le tasse sulle compravendite, eredità e donazioni sono basate sull'oggettivo valore che è determinato attraverso le condizioni della particella, alla capitalizzazione potenziale (definita attraverso il rapporto spaziale del piano) e la localizzazione della particella (nelle modalità di avere fronte su una strada commerciale).

Pertanto, i prezzi delle transazioni e i prezzi delle abitazioni sono basati su un valore oggettivo.

Così, il valore obiettivo è stato calcolato per ogni particella. Le valutazioni Spazio-sintattiche sono state calcolate usando DepthmapX [41, 42].

L'analisi del gradiente angolare [20] è stata scelta in modo da calcolare l'integrazione e la scelta per differenti raggi metrici (totale, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000m).

I risultati dell'analisi (integrazione totale e locale e valori di scelta) sono stati assegnati per ogni particella di territorio verso il suo segmento più vicino usando le tecniche di raccordo spaziale ArcGIS.

In modo da stimare quale migliore raggio di accessibilità (nelle modalità Spazio-sintattiche) determini il valore oggettivo, sono stati costruiti 13 modelli di regressione (1 per ogni set di variabile, integrazione e scelta) ciascuno corrispondente a differenti raggi (1 modello totale e 12 modelli locali):

$$y = ax_1 + bx_2 \quad (1)$$

essendo  $a$  l'integrazione e  $b$  la scelta. Riguardo alla linearità per la calibrazione OLS, alcune delle variabili sono state trasformate in logaritmi. La matrice di correlazione conduce ai modelli 2 e 3 per essere scartate a causa della bassa correlazione ( $r < 0,2$ ) tra la scelta e il valore del terreno. Il resto dei modelli sono stati calibrati con l'OLS, i risultati rappresentati in Tabella 1.

Sono stati effettuati i test di multicollinearità basati sui valori VIF [43] e il test di autocorrelazione basato sulla  $I$  di Moran [44, 45], i risultati sono stati rappresentati in Tabella 1.

Il miglior metodo (basato su  $R$ -quadrata e il Criterio AIC) che espone l'oggettivo valore delle particelle è stato quindi calibrato con il GWR per illustrare possibili relazioni locali. A causa della densità e dell'uniforme distribuzione delle osservazioni il nucleo scelto (potremmo lasciare kernel) viene stabilito come Gaussiano, la dimensione basata su una minimizzazione AICc [38].

AICc viene anche usata per comparare il GWR e il modello OLS. Inoltre, i parametri a seguire (criterio F3) [46] sono verificati per il significato statistico di non stazionarietà. Usando i valori locali VIF il modello viene anche verificato per la locale multicollinearità [47, 48], che se presente può condurre a irragionevoli indicazioni e ampi standard di errori. Per l'analisi sopra descritta è stato utilizzato il gwmodel [49, 50].

I risultati sono rappresentati nelle tabelle 2, 3 e 4. Infine l'indice  $I$  di Moran viene calcolato per il modello GWR e viene comparato al OLS.

## 3. Risultati e commenti

I risultati dalla regressione OLS indicano che entrambe le valutazioni di integrazione e scelta sono variabili statisticamente significative con l'integrazione essendo più influenti per il valore del terreno piuttosto che per i problemi di multicollinearità riportati.

L'integrazione ha una relazione positiva in contrasto con la relazione negativa della scelta. L'analisi mostra che il raggio metrico 1500 m è il livello di accessibilità che meglio espone il valore oggettivo (il 54% della proporzione della variazione), ma l'autocorrelazione dei residui è un problema che non può essere disatteso.

Un equo intervallo di classificazione dei valori oggettivi viene rappresentato nella Fig. 1b, con i valori più bassi che appaiono nei settori tradizionali e i più alti al centro della città. L'analisi spaziale risulta basata sulla teoria Spazio sintattica e sembra coincidere con le strutture della città. La Fig. 2a illustra i segmenti della rete che sono maggiormente attraversati in ogni possibile scelta di viaggio. Questi segmenti sono attualmente le parti della rete che collegano le parti tradizionali della città con le nuove espansioni e anche nelle aree commerciali all'ingrosso e nelle attività al dettaglio.

Considerazioni equivalenti possono essere fatte per la Fig. 2b dove il centro della città è manifesto assieme alle aree isolate.

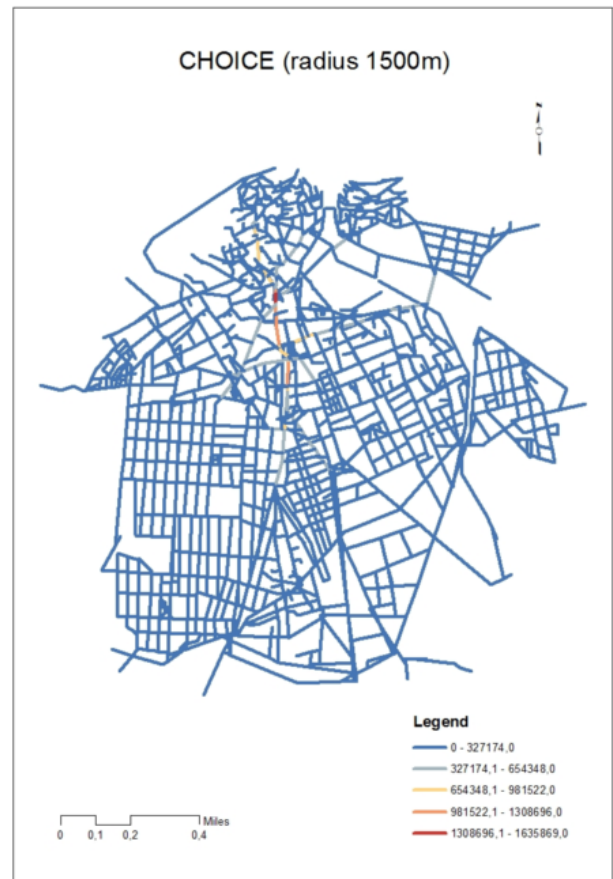


Fig. 2b - Misurazioni di scelta [raggio 1500m]



Fig. 2a - Misurazioni di integrazione [raggio 1500m]

Il modello di raggio di 1500m è stato poi calibrato con il GWR con risultati significativi. Comparando il valore AIC dei due modelli, il modello GWR è decisamente superiore, mentre secondo i test correlati non viene individuata alcuna multicollinearità locale. Inoltre, entrambe le valutazioni mostrano una non stazionarietà spaziale statisticamente significativa [criterio F3], indicando che il GWR è l'approccio appropriato per gli scopi qui trattati. Uno degli importanti vantaggi del GWR è la capacità di mappare i risultati [10, 46]. L'integrazione del coefficiente di mappa viene presentata nella Fig. 3a. Poiché è stato osservato che la relazione è positiva con i più alti valori individuati nelle aree con alti valori di integrazione, è coerente con la precedente teoria [22]. Uno dei punti più interessanti è la regione sull'est, dove l'integrazione è molto più capitalizzata, probabilmente a causa di un notevole grado di segmentazione. Una delle più interessanti conclusioni è riportata nella Fig. 3b. Poiché viene notato che il distretto centrale della città valuta negativamente la scelta in contrasto con la regione di sudovest dove avviene una condizione opposta. Interpretando questi risultati da un punto di vista di proprietà residenziale, gli alti valori di scelta, spesso correlati a flussi veicolari [51], e il rumore e la congestione del traffico [25], come è il caso del centro città, influenzano negativamente i valori. Al contrario, la regione di sudovest è caratterizzata da un alto

indice di superficie abitabile che indica forte densità di costruzione e di popolazione, insieme con alcuni usi retail analizzati. La positiva influenza di scelta sui valori (di costruzione) viene anche riportata in [22], nelle regioni con relative strutture che dimostrano come i residenti sono

tolleranti rispetto al rumore e al traffico. Lo Z- punteggio dell'I di Moran per il residuale modello GWR è ridotto in maniera impressionante a 191,47 ma è tuttora una questione irrisolta.

Model	Coef		Robust t	R2	Adj. R2	AIC	VIF	Moran's I
	Unstd	Std						
1	0,002*	0,708*	72,379	0,449	0,449	5687,859	1,262	291,58*
	0,000*	-0,094*	-7,396				1,262	
4	0,003*	0,673*	64,675	0,394	0,394	6397,236	1,293	347,72*
	-0,021*	-0,111*	-9,273				1,293	
5	0,002*	0,724*	77,622	0,467	0,467	5445,241	1,270	339,87*
	-0,017*	-0,101*	-9,417				1,270	
6	0,002*	0,758*	85,064	0,511	0,511	4803,238	1,271	330,72*
	-0,017*	-0,106*	-10,752				1,271	
7	0,002*	0,772*	86,800	0,531	0,531	4496,055	1,269	326,04*
	-0,017*	-0,109*	-11,545				1,269	
8	0,002*	0,779*	87,411	0,540	0,540	4354,766	1,261	322,20*
	-0,017*	-0,113*	-12,663				1,261	
9	0,002*	0,748*	76,993	0,489	0,489	5132,044	1,280	318,04*
	-0,017*	-0,122*	-12,984				1,280	
10	0,002*	0,708*	71,204	0,449	0,449	5686,884	1,260	301,00*
	0,000*	-0,095*	-7,277				1,260	
11	0,002*	0,702*	71,139	0,444	0,443	5761,158	1,258	294,97*
	0,000*	-0,091*	-7,098				1,258	
12	0,002*	0,708*	72,178	0,450	0,449	5680,417	1,258	292,08*
	0,000*	-0,093*	-7,303				1,258	
13	0,002*	0,71*	72,561	0,451	0,451	5656,722	1,262	292,26*
	0,000*	-0,096*	-7,547				1,262	

Tab. 1 - Risultati OLS analisi, test di autocorrelazione di multicollinearità e spaziale [\*= significanza statistica a p=0,001 livello]

Variables	F3 statistic	Numerator DF	Denominator DF	Pr{>}
Intercept	344,917	2120,113	7387,8 <	2,2e-16*
INT1500	463,258	3089,790	7387,8 <	2,2e-16*
LNCH1500	93,145	705,909	7387,8 <	2,2e-16*

Tab. 2 - Test di significanza non stazionaria [\*significanza statistica a p=0,001 livello]

Variables	Coefficients			
	OLS	GWR		
		Min	Median	Max
INT1500	0,002*	-2,18E-05	1,08E-03	0,0028
LNCH1500	-0,017*	-5,33E-02	-1,29E-02	0,0378
AIC	4354,766	-3043,825		
R2	0,540	0,831		
Adj. R2	0,540	0,829		

Tab. 3 - Risultati GWR, comparazione OLS- GWR [\*significanza statistica a p=0,001 livello]

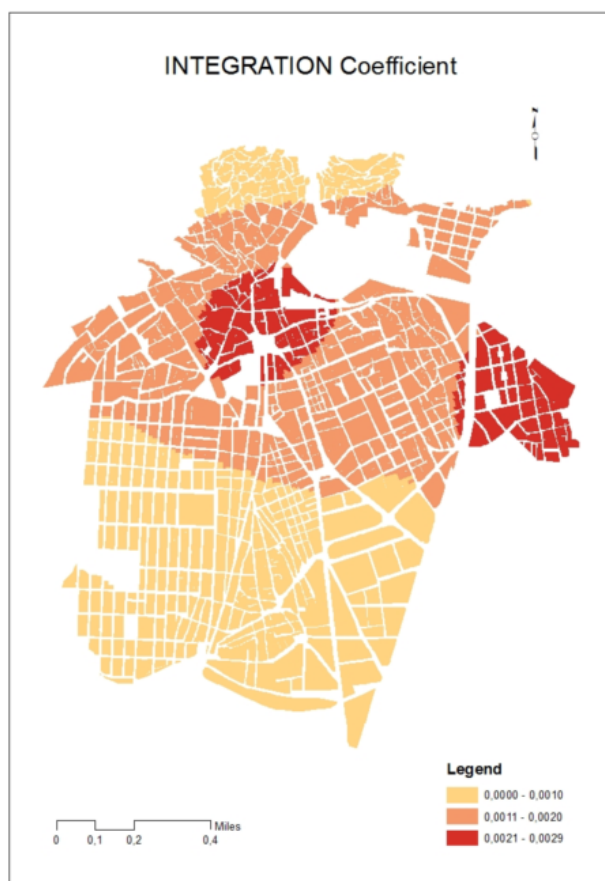


Fig. 3a - Coefficiente di integrazione GWR

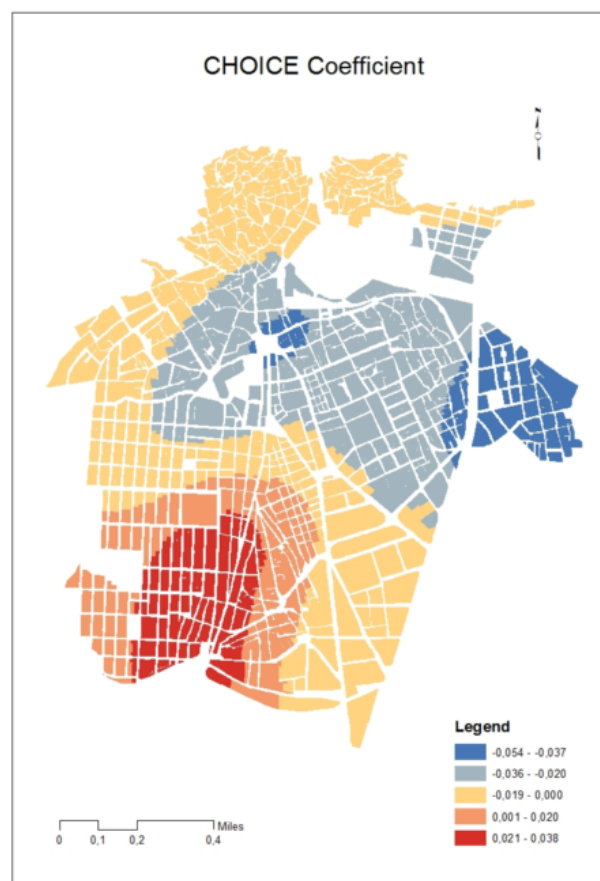


Fig. 3b - Coefficiente di scelta GWR

	LNCH1500		
	INT1500 VIF	VIF	Local CN
Min.	1,051	1,051	6,224
1st Qu.	1,238	1,238	10,553
Median	1,385	1,385	13,146
Mean	1,389	1,389	13,928
3rd Qu.	1,534	1,534	17,198
Max.	1,875	1,875	28,651

Tab. 4 - Diagnostiche multicollinearità locali

## 4. Conclusioni e prospettive

Questa ricerca ha condotto ad inferenze concernenti l'importanza dell'accessibilità geometrica Spazio sintattica nell'interpretazione dei valori del suolo. Questa osservazione è più evidente quando l'integrazione e la scelta vengono usate nelle regressioni valutate localmente con coefficienti variabili come il GWR. Uno dei più interessanti risultati è che nel raggio di 1500m le valutazioni di accessibilità spaziale, formano indici che illustrano il suolo della proprietà residenziale. Inoltre è stato mostrato che usando il metodo spaziale di autocorrelazione GWR i problemi vengono ridotti, mentre emergono modelli locali di influenza dell'accessibilità. Un'interessante idea per futura ricerca potrebbe essere focalizzarsi su più dati di particelle per essere aggregati all'analisi, con altre valutazioni di accessibilità in modo da acquisire un più alto grado di affidabilità.

## Bibliografia

- [1] Alonso W., *Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent*. Harvard University Press, Cambridge, 1964
- [2] Mills E.S., *Studies in the Structure of the Urban Economy*. Johns Hopkins Press, Baltimore 1972
- [3] Muth R., *Cities and Housing*. University of Chicago Press, Chicago, 1969
- [4] Brueckner J.K., Thisse J.F., Zenou Y., *Why is central Paris rich and downtown Detroit poor? An amenity-based theory*. In: Eur. Econ. Rev. 43(1), pp. 91 - 107, 1999
- [5] Orford S., *Valuing locational externalities: a GIS and multilevel modelling approach*. In: Env. Plan. 29(1), pp. 105 - 127, 2002
- [6] Nilsson P., *Natural amenities in urban space - a geographically weighted regression approach*. In: Landscape Urban Plan. 121, pp. 45 - 54, 2014
- [7] Spinney J., Maoh H., Kanaroglou P., *Location and land values: comparing the accuracy and fairness of mass appraisal models*. In: Can. J. Reg. 37(1/3), pp. 19 - 26, 2014
- [8] Chin H.C., Foong K.W., *Influence of school accessibility on housing*

- values. In: J. Urban Plan. Dev. 132(3), pp. 120–129, 2006
- [9] Bencardino M., Nesticò A., *Urban sprawl, labor incomes and real estate values*. In: Borruso G., et al. (eds.) ICCSA 2017. LNCS, vol. 10405, pp. 17–30. Springer, 2017
- [10] Fotheringham A.S., *Geographically weighted regression*. In: Fotheringham A.S., Rogerson P.A. (eds.) Spatial Analysis, pp. 243–254, 2009
- [11] Handy S., *Planning for accessibility: theory and practice*. In: Levinson D.M., Krizek K.J. (eds.) Access to Destinations, pp. 131–147. Elsevier Publishers, 2005
- [12] Porta S., Crucitti P., Latora V., *The network analysis of urban streets: a primal approach*. In: Env. Plan. B Urban Analytics City Sci. 33(5), pp. 705–725, 2006
- [13] Charalambous N., Mavridou M.: *Space syntax: spatial integration accessibility and Angular Segment Analysis by Metric Distance (ASA-MeD)*. In: Hull A., Silva C., Bertolini L. (eds.) Accessibility Instruments for Planning Practice. COST Office, pp. 57–62, 2012
- [14] Jiang B., Claramunt C., Batty M., *Geometric accessibility and geographic information: extending desktop GIS to space syntax*. In: Comput. Env. Urban Syst. 23(2), pp. 127–146, 1999
- [15] Hillier B., Hanson J., *The Social Logic of Space*. Cambridge University Press, Cambridge, 1984
- [16] Hillier B., Penn A., Hanson J., Grajewski T., Xu J., *Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement*. In: Env. Plan. 20(1), pp. 29–66, 1993
- [17] Karimi K., *A configurational approach to analytical urban design: space syntax methodology*. In: Urban Des. Int. 17(4), pp. 297–318, 2012
- [18] Penn A., Turner A., *Space syntax based agent simulation*. In: Schreckenberg M., Sharma S.D. (eds.) Pedestrian and Evacuation Dynamics, pp. 99–114. Springer, Berlin, 2002
- [19] Hillier B., *Space is the Machine: A Configurational Theory of Architecture*. Space Syntax, London, 2007
- [20] Hillier B., Vaughan, L., *The city as one thing*. In: Prog. Plan. 67(3), pp. 205–230, 2007
- [21] Hillier B., Lida S., *Network and psychological effects in urban movement*. In: International Conference on Spatial Information Theory, COSIT 2005. LNCS, Ellicottville, NY, United States, vol. 3693, pp. 475–490. Springer, Heidelberg, 2005
- [22] Xiao Y., Webster C., Orford S., *Identifying house price effects of changes in urban street configuration: an empirical study in Nanjing*. In: China Urban Stud. 53(1), pp. 112–131, 2016
- [23] Desyllas J., *Berlin in Transition: Using Space Syntax to analyse the relationship between land use, land value and urban morphology*. In: Major M.D., Amorim L., Dufaux D. (eds.) Proceedings of the First International Space Syntax Symposium, pp. 04.1–04.15. University College London, London, 1997
- [24] Enström R., Netzell O., *Can space syntax help us in understanding the intraurban office rent pattern? Accessibility and rents in Downtown Stockholm*. In: J. Real Estate Fin. Econ. 43(4), p. 548, 2011
- [25] Law S., Karimi K., Penn A., Chiaradia A., *Measuring the influence of spatial configuration on the housing market in metropolitan London*. In: Kim, Y.O., Park, H.T., Seo, K.W. (eds.) Proceedings of the Ninth International Space Syntax Symposium, pp. 121.1–121.20. Sejong University Press, Seoul, 2013
- [26] Matthews J.W., Turnbull G.K., *Neighborhood street layout and property value: the interaction of accessibility and land use mix*. In: J. Real Estate Fin. Econ. 35(2), pp. 111–141, 2007
- [27] Shen Y., Karimi K., *The economic value of streets: mix-scale spatio-functional interaction and housing price patterns*. In: Appl. Geogr. 79, pp. 187–202, 2017
- [28] Chiaradia A., Hillier B., Barnes Y., Schwander C., *Residential property value patterns in London: space syntax spatial analysis*. In: Koch, D., Marcus, L., Steen, J. (eds.) Proceedings of the 7th International Space Syntax Symposium, pp. 015.1–015.12. Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, 2009
- [29] Narvaez L., Penn A., Griffiths S., *Space Syntax Economics: decoding accessibility using property value and housing price in Cardiff, Wales*. In: Greene, M., Reyes, J., Castro, A. (eds.) Proceedings of the Eighth International Space Syntax Symposium, Santiago de Chile, pp. 1–19, 2012
- [30] Topcu M., Kubat A.S., *Computers, the analysis of urban features that affect land values in residential areas*. In: Koch D., Marcus L., Steen J. (eds.) Proceedings of the 7th International Space Syntax Symposium, pp. 026.1–026.9. Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, 2009
- [31] Giannopoulou M., Vavatsikos A.P., Lykostratis K., *A process for defining relations between urban integration and residential market prices*. In: Calabrò, F., Della Spina, L. (eds.) Procedia - Social and Behavioral Sciences, vol. 223, pp. 153–159, Elsevier, 2016
- [32] Dubin R.A., *Spatial autocorrelation: a primer*. In: J. Hous. Econ. 7(4), pp. 304–327, 1998
- [33] Pace R.K., Barry R., Sirmans C.F., *Spatial statistics and real estate*. In: J. Real Estate Fin. Econ. 17(1), pp. 5–13, 1998
- [34] Pace R.K., Gilley O.W., *Using the spatial configuration of the data to improve estimation*. In: J. Real Estate Fin. Econ. 14(3), pp. 333–340, 1997
- [35] Maddala G.S., *Econometrics*, 2nd edn. McGraw-Hill, New York. Measuring Urban Configuration: A GWR Approach 487, 1977
- [36] Haining R., *Spatial Data Analysis Theory and Practice*. Cambridge University Press, Cambridge, 2003
- [37] Fotheringham A.S., Brunson C., Charlton M., *Geographically Weighted Regression*. Wiley, Chichester, 2002
- [38] Fotheringham A.S., Charlton M.E., Brunson C., *Geographically weighted regression: a natural evolution of the expansion method for spatial data analysis*. In: Env. Plan. A 30(11), pp. 1905–1927, 1998
- [39] Duarte C.M., Tamez C.G.: *Does noise have a stationary impact on residential values?* In: J. Eur. Real Estate Res. 2(3), pp. 259–279, 2009
- [40] McMillen D., Redfearn C.L., *Estimation and hypothesis testing for nonparametric hedonic house price functions*. In: J. Reg. Sci. 50(3), pp. 712–733, 2010
- [41] Turner A., Depthmap 4, A Researcher's Handbook. Informazioni su: <http://www.vr.ucl.ac.uk/depthmap/handbook/depthmap4.pdf>
- [42] Varoudis T., DepthmapX – Multi-platform Spatial Network Analyses Software. Informazioni su: <https://github.com/varoudis/depthmapX>
- [43] Pedhazur E.J., *Multiple Regression in Behavioral Research*, 3rd edn. Harcourt Brace, Orlando, 1997
- [44] Cliff A.D., Ord J.K., *Spatial Autocorrelation*. Pion, London, 1973
- [45] Cliff A.D., Ord J.K., *Spatial Processes: Models and Applications*. Pion, London, 1981
- [46] Leung Y., Mei C.L., Zhang W.X., *Statistical tests for spatial non-stationarity based on the geographically weighted regression model*. In: Env. Plan. A 32(1), pp. 9–32, 2000
- [47] Wheeler D.C., *Diagnostic tools and a remedial method for collinearity in geographically weighted regression*. In: Env. Plan. A 39(10), pp. 2464–2481, 2007
- [48] Wheeler D., Tiefelsdorf, M., *Multicollinearity and correlation among local regression coefficients in geographically weighted regression*. In: J. Geogr. Syst. 7(2), pp. 161–187, 2005
- [49] Gollini I., Lu B., Charlton M., Brundson C., Harris P., *GWmodel: an R package for exploring spatial heterogeneity using geographically weighted models*. In: J. Stat. Softw. 63(17), pp. 1–50, 2015

[50] Lu B., Harris P., Charlton M., Brundson C., *The GWmodel R package: further topics for exploring spatial heterogeneity using geographically weighted models*. In: *Geo-spat. Inf. Sci.* 17(2), pp. 85–101, 2014

[51] Turner A., *From axial to road-centre lines: a new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis*. In: *Env. Plan. B Urban Anal. City Sci.* 34(3), pp. 539–555, 2007

