

Analisi di Modelli di Localizzazione e di Interazione Spaziale. Proposta di un modello di ottimo vincolato applicato ad un'area di studio per la localizzazione di un grande centro commerciale

AUTORI

Mauro Mazzei - National Research Council, Istituto di Analisi dei Sistemi ed Informatica "Antonio Ruberti"
- mauro.mazzei@iasi.cnr.it

Armando Luigi Palma - National Research Council, Istituto di Analisi dei Sistemi ed Informatica "Antonio Ruberti" - palma@arpal.it

Parole chiave: GIS; urban models; spatial data analysis; spatial statistical model



ABSTRACT

Le trasformazioni di sistemi territoriali e urbani sono il risultato di complesse interazioni tra ambiente fisico e ambiente socio-economico differenziato nello spazio e nel tempo. Questi sistemi molto complessi rendono di difficile comprensione i fenomeni di trasformazione territoriale e urbana e le loro cause; occorre quindi ridurre la loro complessità per rendere più semplice l'analisi, la previsione, l'ottimizzazione e il controllo di tali sistemi territoriali. Per semplificare la realtà occorre rappresentarla con modelli che tengano conto di tutti i fattori più significativi che permettano una comprensione dei sistemi oggetto di studio. Questo lavoro è focalizzato sull'analisi comparativa dei vari modelli gravitazionali applicati retrospettivamente, e nelle loro varie integrazioni, sia come modelli di localizzazione di attività (Hansen, Lakshmanan) che come modelli di interazione spaziale (Lowry e Garin-Lowry), ad un'area di studio (la provincia di Taranto). Infine, viene proposto un modello di ottimo vincolato per la localizzazione nella stessa area di un grande centro commerciale

1. Introduzione

Nel linguaggio comune un "sistema" è inteso, correntemente, come un insieme di parti connesse che possono interagire in modo da formare un'unità funzionale. Riteniamo utile dare qui una definizione più precisa che ci sarà utile nel seguito: consideriamo "sistema" un insieme di parti che comunicano tra loro, la cui attività è volta a conseguire un risultato. La comunicazione tra le parti del "sistema" è finalizzata all'attuazione del necessario coordinamento delle attività che consente di conseguire il risultato atteso. La comunicazione tra le parti del sistema coinvolge diversi tipi di interazione come la trasmissione (trasporto o trasformazione spaziale) di beni materiali, di persone, di messaggi. E come le attività delle parti di un sistema sono sempre connesse ad un luogo, la stessa cosa accade per le comunicazioni. Sicchè, il primo passo da compiere nel voler definire un sistema sta nel riconoscere le attività collegate da comunicazioni. Un sistema può essere rappresentato graficamente con un grafo connesso, i cui nodi sono rappresentativi delle parti del sistema e i cui archi di connessione sono rappresentativi dei canali di comunicazione esistenti tra le parti del sistema. Tali canali possono rappresentare connessioni costruite, come strade, sentieri, ferrovie, canali, condotte, cavi telefonici, oppure connessioni naturali come fiumi,

corridoi aerei, sommità delle montagne o il fondo delle valli. Le attività delle parti di un sistema, per poter conseguire il risultato atteso, devono essere assoggettate ad una regolazione controllata dell'errore. Tale regolazione (feedback) è attuata attraverso un meccanismo di controllo fornito di informazioni sullo stato effettivo del sistema, confrontato con lo stato desiderato. Nel nostro caso, le città considerate corrispondono al sistema che desideriamo controllare; gli stati desiderati sono quelli eventualmente presenti in un piano, mentre noi possiamo valutare quale sia lo stato effettivo del sistema attraverso varie forme di indagini, comprese quelle censuarie sulla popolazione, sull'occupazione, sui servizi, sulle abitazioni. Data la sua natura, la città può essere influenzata aggiungendo, rimuovendo o alterando parti, componenti o collegamenti tra componenti, cioè influenzando gli usi del suolo e le comunicazioni. Questo risultato può essere ottenuto in due modi. In primo luogo attraverso l'intervento pubblico relativo agli ospedali, alle scuole, alla residenza, ai servizi, alle strade, ai trasporti su gomma e su ferro, ai parcheggi, e così via. In secondo luogo, indirettamente, regolando le modificazioni promosse da privati attraverso idonei processi di controllo e regolazione dello sviluppo. E' chiaro che bisogna disporre di mezzi che consentano di prevedere gli effetti delle nostre azioni, pubbliche o private, poiché nel tempo in cui essi avvengono, il sistema può essere andato al di là dei limiti prefissati da un piano e un'azione correttiva potrebbe risultare troppo tardiva. I mezzi che ci consentono di prevedere gli effetti delle nostre azioni, sono i modelli di simulazione che accrescono e ampliano l'esperienza del pianificatore, indicando la necessità di eventuali azioni correttive e consentendo la sperimentazione di differenti forme di intervento. Poiché nei modelli di simulazione può essere introdotta la variabile temporale, è possibile anche verificare i diversi aspetti delle azioni sul breve, medio e lungo periodo.

2. I modelli gravitazionali - Il modello gravitazionale/potenziale di Hansen

Il modello di Hansen è un modello di localizzazione per poter prevedere la localizzazione della popolazione. E' basato sul presupposto che l'accessibilità ai luoghi di lavoro, data dai tempi occorrenti su una assegnata rete viaria per spostarsi dalla residenza ai luoghi di lavoro, è il fattore maggiormente determinante della localizzazione delle residenze. Questo modello non è un modello gravitazionale in senso stretto poiché non è basato sulla interazione tra le zone, ed è più corretto definirlo come un modello "potenziale", poiché riguarda la interazione potenziale dell'accessibilità relativa delle varie zone. L'espressione dell'accessibilità della zona i-esima in relazione alla zona j-esima è data da:

$$A_{i,j} = E_j d_{ij}^{-\alpha}$$

dove $A_{i,j}$ è l'indice di accessibilità della zona i-esima in relazione alla zona j-esima, E_j sono i posti di lavoro totali nella zona j-esima, $d_{ij}^{-\alpha}$ è la distanza tra la zona i-esima e la zona j-esima elevato all'esponente α . L'indice totale di accessibilità per la zona i-esima è la somma dei valori di tutti gli indici di accessibilità rispetto alle altre zone ed è dato da:

$$A_i = \sum_j E_j d_{ij}^{-\alpha}$$

Oltre all'accessibilità, uno dei maggiori fattori che determinano l'attrazione della popolazione verso una certa zona, è la quantità di suoli reperibili in quella zona a destinazione residenziale, che Hansen chiama "capacità di insediabilità" della zona. L'accessibilità A_i e la insediabilità H_i di una certa zona possono essere combinate in un indice di *potenziale di sviluppo* D_i dato dal prodotto dell'indice di accessibilità A_i per la capacità di insediabilità H_i . Si ha perciò:

$$D_i = A_i H_i$$

Il potenziale di sviluppo D_i può essere considerato una misura dell'attrattività di ogni zona, basata sull'accessibilità ai luoghi di lavoro e sulla disponibilità di suoli edificabili. La popolazione è attribuita alla zona i-esima sulla base del potenziale di sviluppo relativo di ognuna delle zone, cioè, il potenziale di sviluppo di ogni zona diviso per il potenziale totale di tutte le zone:

$$(A_i H_i) / (\sum_i A_i H_i)$$

In altre parole, la parte di aumento totale G_t della popolazione (che è un input del modello) che sarà attribuita ad una zona qualsiasi, dipende dall'attrazione relativa di questa zona rispetto alle altre. Per cui, la quota di aumento di popolazione G_i che va alla zona i -esima sarà:

$$G_i = G_t (A_i H_i) / (\sum_i A_i H_i)$$

ossia :

$$G_i = G_t (D_i / \sum_i D_i)$$

Questo modello costituisce uno strumento di facile uso per localizzare la popolazione, sulla scorta di distribuzioni alternative della occupazione, di variazioni di tempi di spostamento derivanti da differenti progetti viari, ed infine, delle diverse possibilità nelle varie zone di insediamenti residenziali.

2.1 Il modello di Lackshmanan e Hansen

E' un modello gravitazionale a origine vincolata, usato frequentemente per attribuire gli acquisti dei consumatori ai centri commerciali. Il modello descrive i flussi per spese tra le zone residenziali e i centri commerciali e stima le vendite in ogni centro sommando i flussi per acquisti da tutte le zone verso ognuno dei centri. Il modello stabilisce che le vendite del centro commerciale sono direttamente proporzionali alla taglia (o attrazione) del centro e inversamente proporzionali alla sua distanza dalle zone residenziali e alla competitività di altri centri. La sola differenza di questo modello dal modello di base a origine vincolata già illustrato, è l'aggiunta di un esponente, a , alla variabile, data dalla loro taglia (superficie), che misura l'attrattività di ogni centro. Ciò è apparso necessario dopo aver sperimentalmente verificato che i grandi centri commerciali attraggono proporzionalmente più di quanto la loro taglia potrebbe indicare. La formulazione analitica del modello è la seguente:

$$S_{ij} = C_i A_i F_j^a d_{ij}^{-\alpha}$$

dove:

S_{ij} = acquisti dalla zona residenziale i verso il centro commerciale j ;

C_i = acquisti totali nella zona residenziale i ;

F_j^a = taglia o attrazione del centro commerciale j ;

$A_i = (\sum_j F_j^a d_{ij}^{-\alpha})^{-1}$;

d_{ij} = distanza dalla zona residenziale i al centro commerciale j

a e α = esponenti da determinare in fase di calibrazione del modello.

Questo modello, per essere impiegato, richiede in input i dati sugli acquisti effettuati da ciascuna zona residenziale, e sulle superfici di vendita (taglia) dei centri commerciali, oltre che la matrice distanza/tempo di ciascuna zona residenziale da ciascun centro commerciale

2.2 Il modello di Lowry

Questo modello integra la teoria della base economica con la teoria dei modelli gravitazionali. La teoria della base economica divide le attività di un'area in due settori: il settore di base e il settore dei servizi. Il settore di base, o di esportazione, produce beni che sono consumati principalmente fuori dell'area e la sua crescita è legata principalmente a quella dell'economia nazionale. La crescita delle industrie di servizio, o non di esportazione, dipende dall'incremento della popolazione dell'area, poiché la popolazione che fornisce la forza lavoro per le industrie di base crea una domanda di servizi quali negozi, trasporti, banche, ecc. Nel modello di Lowry la distinzione tra popolazione dipendente dalla

occupazione di base e popolazione dipendente dall'occupazione di servizio è fondamentale per le implicazioni previsionali che per quelle localizzative.

Le assunzioni del metodo della base economica possono essere espresse agevolmente in forma matematica. Se rappresentiamo con **E** l'occupazione totale di un'area, con **B** l'occupazione di base, con **S** l'occupazione di servizio, si ha che

$$E = B + S$$

Possiamo inoltre considerare che in un certo istante un dato numero di posti di lavoro totali **E** mantiene una certa popolazione **P**. Se rappresentiamo il numero di persone mantenute da un solo posto di lavoro con il simbolo α , detto indice di dipendenza, abbiamo che

$$P = \alpha E$$

dove α è un fattore che esprime la quota di popolazione totale occupata. Si ha anche che

$$\alpha = P/E$$

Tuttavia, il punto centrale del modello di Lowry riguarda la distinzione tra la popolazione che dipende dalla occupazione di base e quella che dipende dalla occupazione di servizio. Pertanto la popolazione può esprimersi in termini di occupazione di base e occupazione di servizio, posto l'occupazione totale uguale alla somma dell'occupazione di base e dell'occupazione di servizio

$$E = B + S$$

da cui

$$P = \alpha (B + S)$$

$$P = \alpha B + \alpha S$$

La seconda assunzione per il funzionamento del modello di Lowry è che il livello della occupazione di servizio è determinato dal livello della popolazione. Pertanto, come abbiamo detto che la popolazione **P** è una funzione della occupazione totale **E**, possiamo anche dire che la occupazione di servizio **S** è una funzione della popolazione totale. Cioè, se poniamo:

$$S = \beta P$$

β può essere considerato un tasso di servizio della popolazione, cioè un fattore che esprime la quantità di occupazione di servizio richiesta o sostenuta da una popolazione **P** data. Si ha anche:

$$\beta = S/P$$

Sulla scorta delle ipotesi di base, il modello di Lowry è in grado di stimare la distribuzione della popolazione residente e dei posti di lavoro nel settore dei servizi a partire da una distribuzione data di posti di lavoro nel settore di base, attraverso un processo di tipo iterativo. Infatti il modello calcola la distribuzione dei residenti a partire dalla distribuzione dei posti di lavoro nel settore di base per mezzo di un *modello gravitazionale a destinazione vincolata*

$$T_{i,j} = W_i B_j D_j d_{ij}^{-\alpha}$$

in cui W_i misura l'attrazione della zona *i* come sede di residenza, ossia come misura delle aree edificabili ottenute sottraendo dall'area dell'intera zona l'area delle attrezzature del settore di base e l'area del suolo non utilizzabile, mentre D_j rappresenta il numero di posti di lavoro nella zona *j*. Nella prima iterazione del modello, i posti di lavoro D_j sono quelli del settore di base, mentre nelle iterazioni successive i valori D_j rappresentano i successivi incrementi dei posti di lavoro del settore dei servizi. A questo punto si calcola il numero di spostamenti che la popolazione residente effettua per recarsi alle attrezzature del settore dei servizi, utilizzando un *modello gravitazionale a origine vincolata*

$$T_{i,j} = A_i O_j W_j^* d_{ij}^{-\alpha}$$

ove W_j^* è una misura dell'attrazione della zona *j*-esima come sede di attrezzature del settore servizi. Di norma questa misura viene espressa dall'area della superficie occupata dalle attrezzature del settore già

ubicate nella zona. Ottenuta la stima dei posti di lavoro nel settore dei servizi relativa alla prima iterazione, questi valori vengono utilizzati nel modello a destinazione vincolata per determinare gli incrementi nella distribuzione dei residenti. Il procedimento viene reiterato fino a raggiungere la condizione di equilibrio data da un incremento della popolazione e dell'occupazione di servizio molto piccola e perciò non significativa.

3. Caso di studio

Il caso di studio è stato applicato nella Provincia di Taranto che comprende 29 comuni. I dati statistici per l'elaborazione sono stati forniti dall'Istituto Italiano di Statistica (ISTAT). In questo caso di studio abbiamo utilizzato i dati riguardanti il censimento del 2001 e 2011. Per maggiore chiarezza i dati sono stati raggruppati per comune, vedi Tabelle 1 e 2. Qui di seguito vengono mostrate le mappe tematiche relative ai dati ISTAT. Questi cartogrammi mostrano le variabili utilizzate durante l'analisi dei diversi modelli urbani. Per facilitare la lettura dei cartogrammi sono stati rappresentati i valori statistici con quattro classi cromatiche.

Tabella 1 - DATA 2001 - ISTAT

ZONES	BASIC EMPLOYMENT	SERVICE EMPLOYMENT	TOTAL EMPLOYMENT	TOTAL POPULATION	RESIDENTIAL AREA
1	245	507	752	7303	3442
2	55	303	358	6070	1997
3	369	1650	2019	17393	5501
4	268	1397	1665	12973	3345
5	171	189	360	3513	1139
6	109	280	389	5639	1983
7	1081	2013	3094	22146	6607
8	635	2186	2821	31894	7093
9	242	1534	1776	14996	3143
10	44	357	401	5810	4200
11	76	568	644	10195	5287
12	502	2754	3256	31747	19916
13	3848	5331	9179	48756	15866
14	64	357	421	5386	6944
15	1425	2865	4290	30923	6080
16	49	212	261	5199	1755
17	63	242	305	4277	962
18	13	129	142	2411	798
19	389	1248	1637	16575	4073
20	112	495	607	7483	1559
21	313	1022	1335	15815	3601
22	132	962	1094	10240	5470
23	4	62	66	1756	622
24	561	1139	1700	15613	2820
25	43	502	545	8830	3578
26	344	1465	1809	16163	7992
27	234	515	749	14585	2773
28	19317	32491	51808	202033	17581
29	199	284	483	4082	4923

Tabella 2 - DATA 2011 - ISTAT

ZONES	BASIC EMPLOYMENT	SERVICE EMPLOYMENT	TOTAL EMPLOYMENT	TOTAL POPULATION	RESIDENTIAL AREA
1	131	679	810	6964	3442
2	135	469	604	6963	1997
3	194	1806	2000	17075	5501
4	226	1348	1574	13646	3345
5	225	345	570	3558	1139
6	200	500	700	5345	1983
7	876	2556	3432	22555	6607

15a Conferenza Utenti Esri
Roma, 9 e 10 Aprile 2014

8	694	3362	4056	32544	7093
9	954	1926	2880	15316	3143
10	109	677	786	7873	4200
11	107	781	888	10192	5287
12	531	3825	4356	30795	19916
13	2996	7856	10852	48958	15866
14	35	506	541	5355	6944
15	1315	4230	5545	32548	6080
16	786	300	1086	5530	1755
17	69	309	378	4037	962
18	5	117	122	2410	798
19	639	1626	2265	16127	4073
20	48	537	585	7829	1559
21	231	1525	1756	16111	3601
22	145	1194	1339	11221	5470
23	11	93	104	1797	622
24	571	1753	2324	15480	2820
25	66	746	812	9237	3578
26	299	1834	2133	16343	7992
27	286	823	1109	14055	2773
28	16491	35806	52297	198728	17581
29	193	372	565	4222	4923

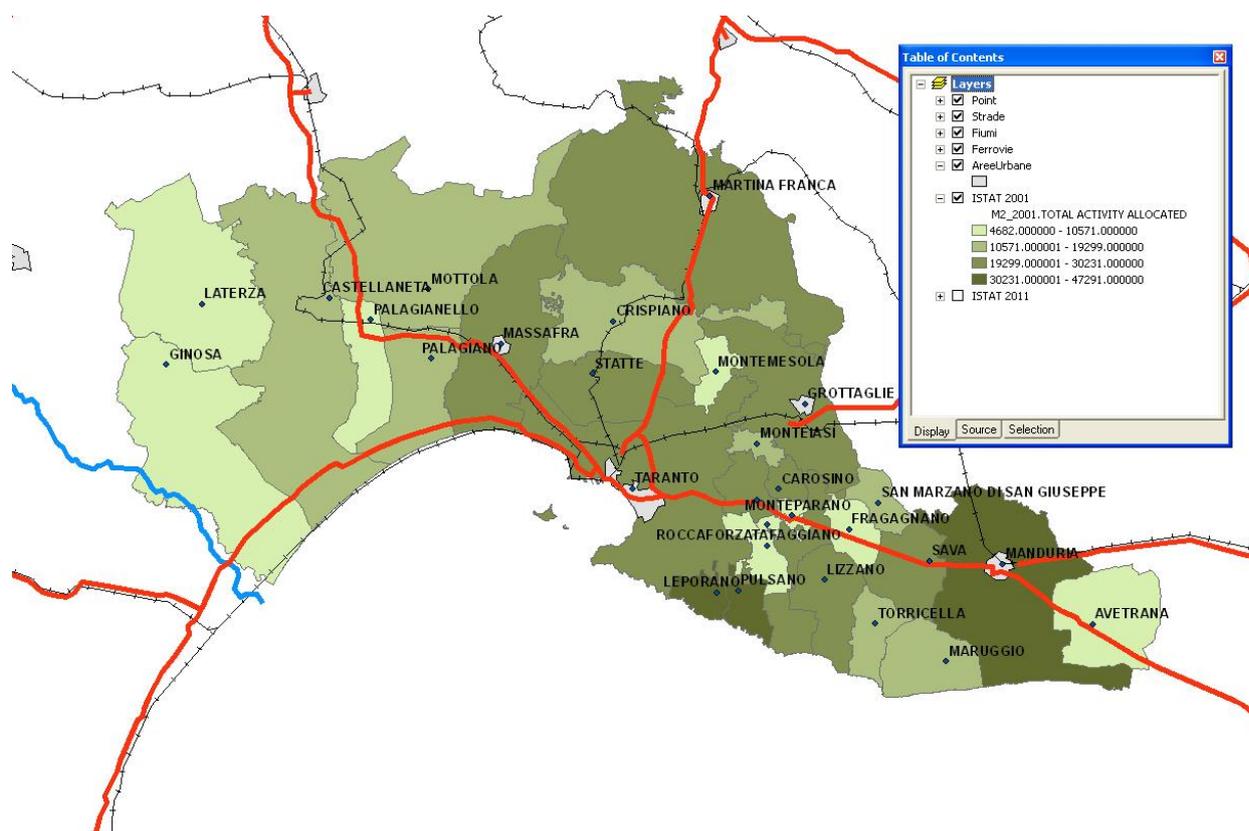


Figura 1 - Localizzazione delle attività con il Modello di Hansen al 2001.

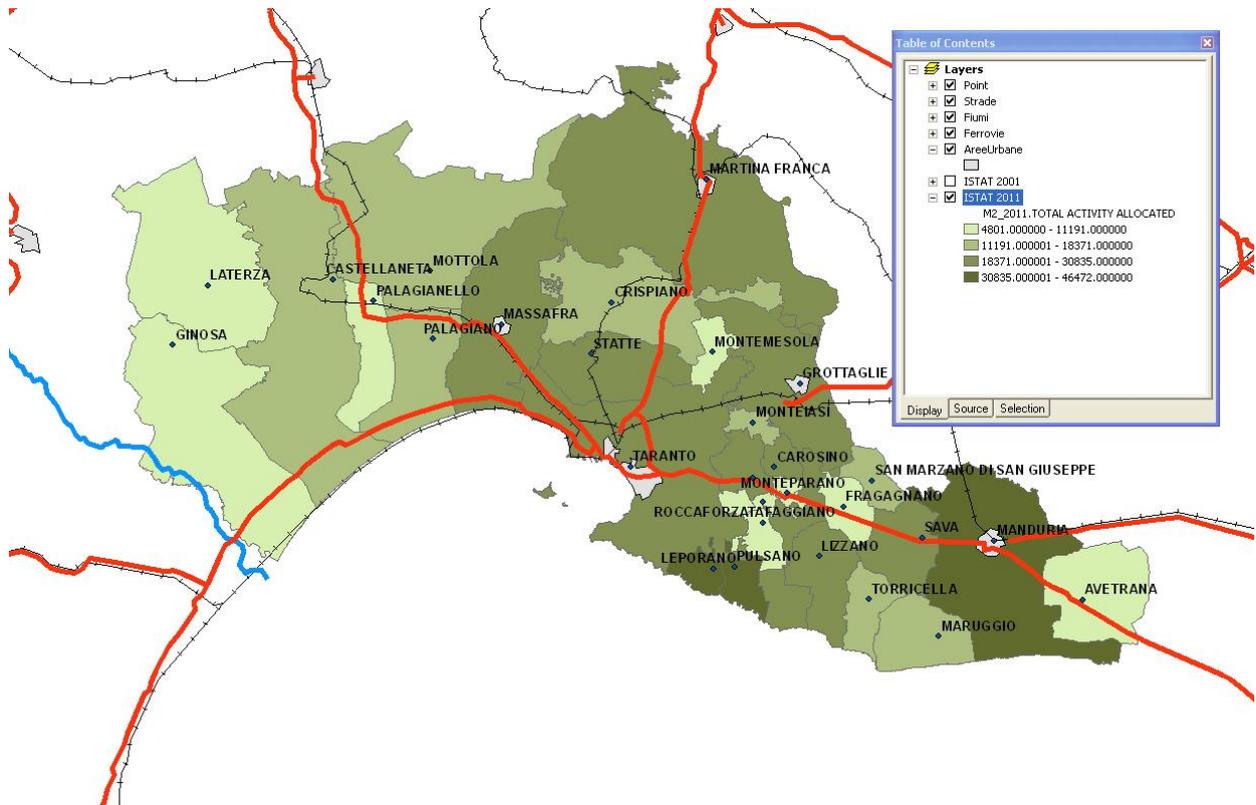


Figura 2 - Localizzazione delle attività con il Modello di Hansen al 2011.

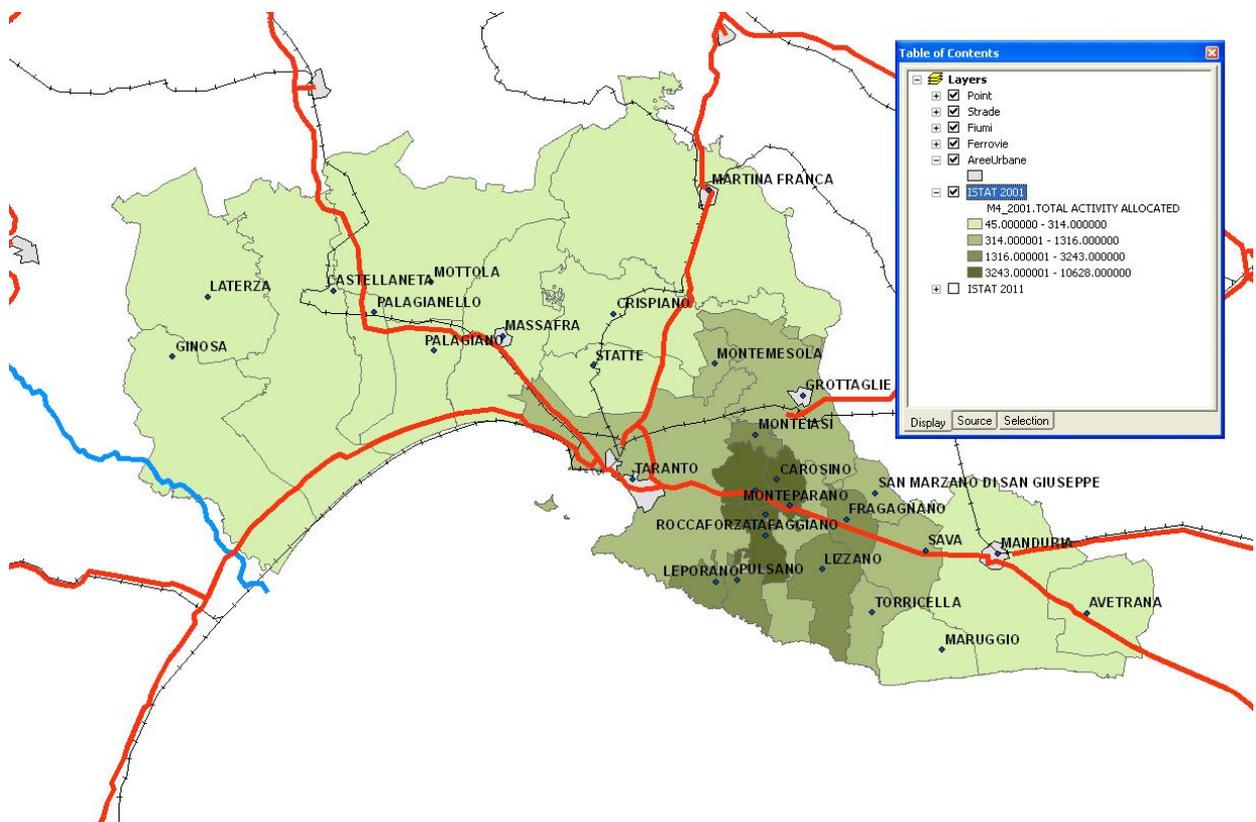


Figura 3 - Localizzazione delle attività con il Modello di Lowry al 2001.

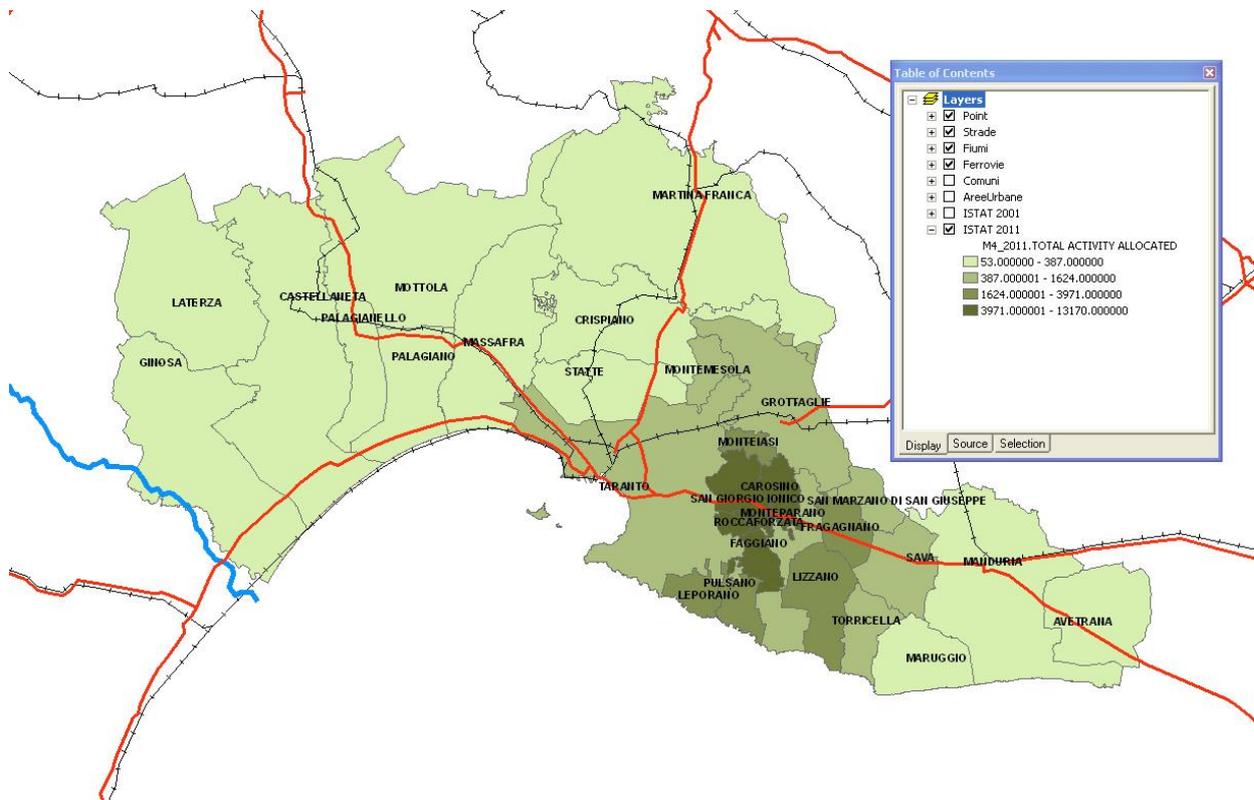


Figura 4 - Localizzazione delle attività con il Modello di Lowry al 2011

4. Modello per la migliore localizzazione, con livello massimo di vendite, di un grande centro commerciale

Il modello tiene conto della distanza della localizzazione del grande centro commerciale dai vari centri urbani dell'area considerata. La distanza di localizzazione del grande centro commerciale da tutte le aree urbane, viene percepita dall'utenza come una impedenza per gli spostamenti. Sicchè, il modello assume la forma:

$$T_i = \sum_j d_{ij}^{-\alpha} E_j R \varepsilon$$

in cui l'esponente α può assumere valori tra 1 e 2, il fattore R rappresenta il reddito medio degli occupati E_j e il fattore ε rappresenta la quota di reddito mensile speso nel centro commerciale. Ponendo $\alpha = 1$, $R=1800$, $\varepsilon = 0.1$ il Comune 24° corrispondente a San Giorgio Ionico, risulta la migliore potenziale localizzazione, in relazione alle vendite, con un valore degli acquisti, riferiti all'anno 2001, uguale a $7408.0 * 180,00$ euro mensili, uguale a un fatturato annuo di $7408 * 180,00 * 12$ mentre la localizzazione nel 1° Comune, corrispondente ad Avetrana, con un valore potenziale minimo di fatturato annuo uguale a $2698.6 * 180,00 * 12$ euro, determinerebbe una difficile sopravvivenza di un grande centro commerciale. Infine, va osservato che la utilizzazione del modello con i dati censuari del 2011 conferma San Giorgio Ionico come la migliore localizzazione, con un valore di $T_{24} = 8550.3$ e con un fatturato mensile potenziale di $8550.3 * 180,00$ euro, mentre il Comune di Avetrana, con un valore di $T_1 = 3120.5$ si conferma come la peggiore localizzazione possibile.



Figura 5 - Localizzazione di un grande centro commerciale con il Modello di Ottimo Vincolato

5. Modello per la stima delle emissioni di CO₂ in atmosfera dovute ai flussi di traffico casa-lavoro.

Il modello proposto è essenzialmente fondato sul già richiamato modello gravitazionale a origini vincolate,

$$T_{i,j} = A_i O_i W_j^* d_{ij}^{-\alpha}$$

in cui $T_{i,j}$ rappresenta i valori dei flussi tra la zona i e la zona j mentre le origini O_i sono rappresentate dal numero degli occupati nella zona i -esima e le destinazioni W_j^* sono rappresentate dal numero dei residenti considerati come attrattori delle zone j -esime. Calcolati i flussi $T_{i,j}$, è possibile stimare i veic.-km D_i ascrivibili agli spostamenti dalla i -esima zona verso tutte le altre, mediante la relazione

$$D_i = \sum_j T_{ij} d_{ij}$$

ed infine, ottenere mediante la relazione

$$P = \sum_i D_i K$$

il totale P di emissioni in atmosfera dovute ai flussi di traffico T_{ij} casa-lavoro, calcolati con il modello gravitazionale a origine vincolata, essendo K una costante rappresentativa dei grammi/km di CO₂ emessi in atmosfera da ciascun veicolo.

Con questo modello sono state eseguite simulazioni con i dati censuari del 2001 e del 2011, avendo ottenuto una stima, nel decennio, di un incremento di oltre il 10% dell'inquinamento veicolare dovuto agli spostamenti casa-lavoro.

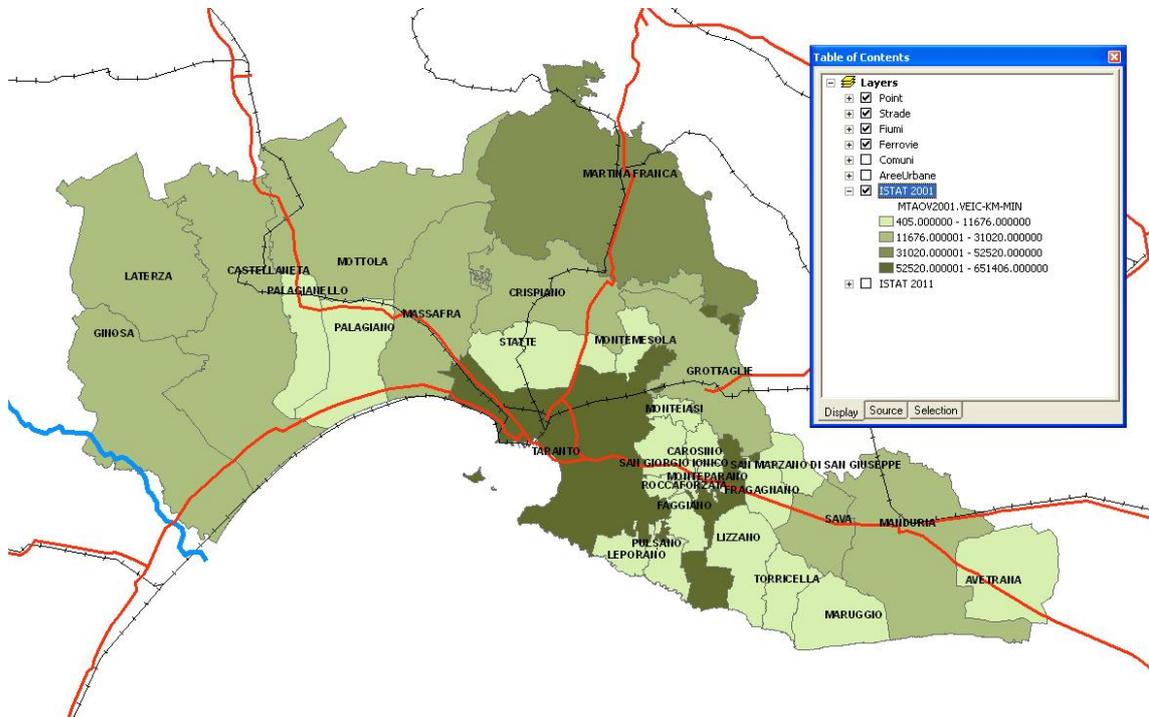


Figura 6 - Classificazione delle aree con il Modello per la stima di emissioni CO₂ al 2001.

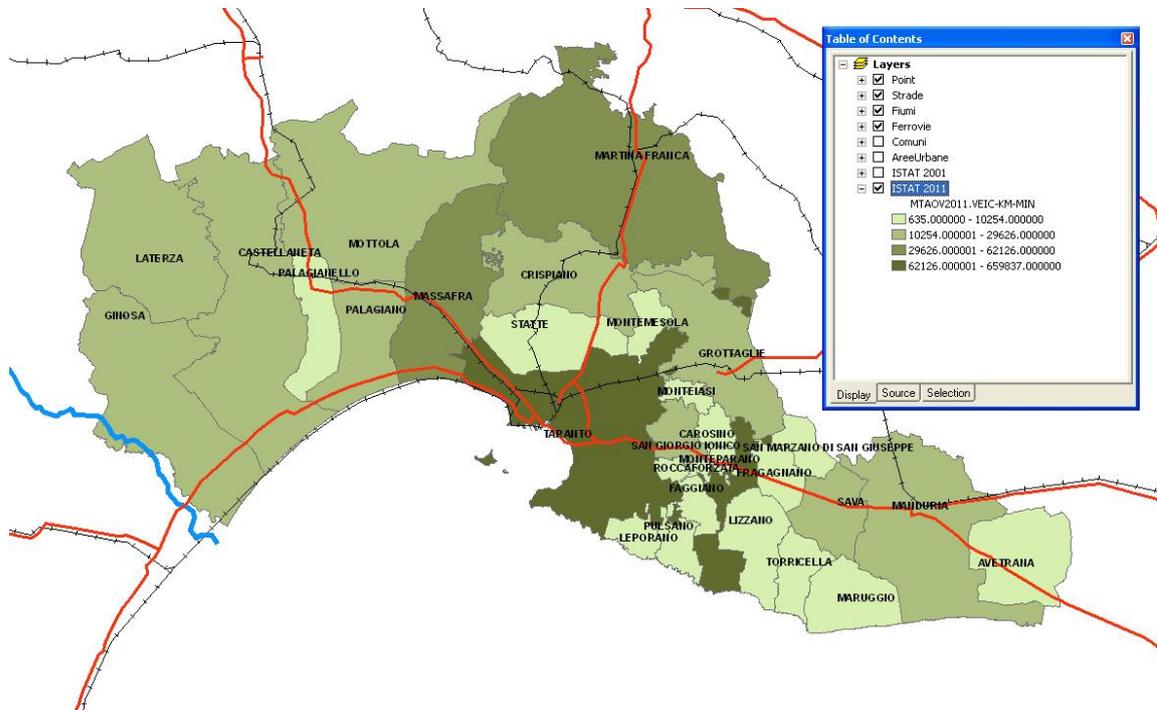


Figura 7 - Classificazione delle aree con il Modello per la stima di emissioni CO₂ al 2011.

Riferimenti

1. Batty, M. An activity allocation model for the Notts/Derby sub-region. *Regional Studies*, vol. 4, no. 3 (1970).
2. Broadbent, T.A. Zone size and spatial interaction. Centre for Environmental Studies, Working Note 106 (1969).
3. Carroll, J.D. and Bevis, H.W. Predicting local travel in urban regions. *Papers and Proceedings of Regional Science Association*, vol. 3 (1957).
4. Cordey Hayes, Retail Location Models. Centre for Environmental Studies, Working Paper 16 (1968).
5. Cripps, E.L. Limitations of the Gravity Concept, in *Styles* (1968).
6. Cripps, E.L. and Carter, E. The Empirical Development of a Disaggregated Residential Location Model: Some Preliminary Results. Urban Systems Research Unit, University of Reading, Working Paper 9 (1971).
7. Freeman, Fox, Wilbur Smith and Assoc: London Traffic Survey, vol. II. Greater London Council (1966).
8. Hansen, W.G. How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, maggio (1959).
9. Isard, W. *Methods of Regional Analysis*. MIT Press (1960).
10. Lakshmanan, T.R. and Hansen, W.G. A retail market potential model. *Journal of American Institute of Planners*, maggio (1965).
11. Lewis, J.P. The invasion of planning. *Journal of the Town Planning Institute*, maggio (1970).
12. McLaughlin, J.B. et al. Regional Shopping Centres in North West England, Part 11. University of Manchester (1966).
13. Schneider, M. Gravity models and trip distribution theory. *Papers and proceeding of the Regional Science Association*, vol. 5 (1959).
14. Styles, B.J. (Ed.) *Gravity Models in Town Planning*. Lanchester Polytechnic (1968).
15. Tanner, J.C. Some Factors affecting the Amount of Travel. Road Research Laboratory Paper No. 58 (1961).
16. Wilson, A.G. The use of entropy maximising methods in the theory of trip distribution. *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 3, no. 1 (1969a).
17. Wilson, A.G. Disaggregating Elementary Residential Models. Centre for Environmental Studies, Working Paper 37 (1969b).
18. Wilson, A.G. Entropy in Urban and Regional Modelling. Centre for Environmental Studies, Working Paper 26 (1969c).