

TECNICHE DI ANALISI SPAZIALE PER LA COMPrensIONE DEI MECCANISMI DI  
CRESCITA DEI TESSUTI INSEDIATIVI

Roberto GERUNDO<sup>1</sup>, Michele GRIMALDI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Salerno, via Ponte Don Melillo, 84084 Fisciano (SA)

**SOMMARIO**

Il presente contributo si inquadra all'interno del filone di ricerca incentrato sull'analisi delle nuove morfologie urbane e della loro evoluzione. La metodologia messa a punto prevede la scomposizione del tessuto insediativo in ambiti spaziali caratterizzati da un diverso grado di densità e l'analisi delle evoluzioni morfologiche che tali ambiti subiscono nel tempo. Per l'individuazione degli ambiti si ricorre a misure di densità di tipo locale, mediante l'utilizzo della kernel density. Per la caratterizzazione dei meccanismi di crescita di tali ambiti, si ricorre all'ausilio di un set di metriche afferenti alla landscape ecology. Il lavoro testato sul Comune di Giugliano in Campania mette in evidenza come l'uso combinato di tali tecniche di analisi spaziale, implementate in ambiente GIS, sia in grado di dare risposta al problema della misurazione quantitativa, oltre che qualitativa, del fenomeno della diffusione insediativa.

## 1 INTRODUZIONE

Analizzando le città dal punto di vista della loro morfogenesi, si ha conferma di come lo spazio urbano, a far data dalla seconda metà del '900, si sia enormemente dilatato, frammentato e disperso. La comprensione dei meccanismi di crescita parte dall'osservazione diacronica dell'organizzazione urbana e dei suoi caratteri. Sorge il problema di individuare e misurare la superficie di territorio trasformata per usi antropici, al fine di poter confrontare le differenti configurazioni spaziali che si generano ed avvicinano nel tempo.

Il presente studio si basa sull'ipotesi che l'insieme delle differenti configurazioni urbane possano essere scomposte in un numero inizialmente definito di ambiti spaziali, connotati da differenti gradi di densità edilizia, che definiamo tipologicamente in:

- urbano;
- periurbano;
- metaurbano;
- extraurbano.

L'ambito urbano coincide con la modalità insediativa nella quale è riconoscibile una stretta complementarità tra rete stradale e impianto edilizio, consistente in una sostanziale giustapposizione ordinata fra giacitura viaria, isolati e lotti, tendenzialmente caratterizzata dal parallelismo fra gli assi principali dei singoli corpi di fabbrica, in via di progressivo posizionamento sul suolo.

L'ambito periurbano corrisponde, invece, alla parte periferica e marginale dei tessuti urbani consolidati che si proietta verso il territorio rurale. Esso può essere contraddistinto da una densità insediativa variabile, che, in questa sede e per semplicità, riduciamo ad alta o bassa.

L'ambito metaurbano è contraddistinto dalla modalità insediativa caratterizzata dalla non complementarità tra rete viaria e impianto edilizio; è anch'esso posto al di là dell'ambito urbano, generalmente ma non sempre con soluzione di continuità rispetto ad esso, ed è contraddistinto da livelli di densità paragonabili all'ambito periurbano.

L'ambito extraurbano, infine, coincide con la componente rurale del territorio ed è caratterizzato da insediamenti radi e sparsi e da una sostanziale integrità del paesaggio naturale o agricolo.

Ciascuno dei suddetti ambiti, che si considerano esaustivi dell'interesse del territorio, di volta in volta esaminato, può presentarsi scomposto in sottoambiti e subisce, nel tempo, una pluralità di modificazioni, in termini di dimensione fisica e configurazione spaziale.

Obiettivo del presente contributo è testare la metodologia applicata ad altri ambiti insediativi (Gerundo R., Grimaldi M., 2009), ai fini di una sua ulteriore validazione. Quest'ultima

prevede la definizione dei denominati ambiti, così come sopra definiti, attraverso misure di densità di tipo locale implementate con il metodo KDE, Kernel Density Estimation, quindi, la caratterizzazione dei meccanismi di crescita con l'ausilio di un set di indicatori forniti dalla landscape ecology.

## 2 MECCANISMI DI CRESCITA DEI TESSUTI INSEDIATIVI

La crescita dei tessuti insediativi, per l'ipotesi di partenza, è ascrivibile alla crescita dei suoi ambiti. Le modalità di crescita di ciascun ambito sono due:

- *densificazione*
- *espansione*

La densificazione è quel processo di crescita che comporta, tra due soglie storiche successive, l'invarianza delle dimensioni dell'ambito, in termini di superficie e di forma, unitamente ad un aumento della densità. Tale processo può essere iniziale, avanzato o concluso, a seconda che avvenga con un grado di densità variabile tra quello ascrivibile all'ambito urbano che definiamo *alto*, a quello *medio e basso ascrivibile* al periurbano e metaurbano.

L'espansione, invece, è quel processo di crescita che può avvenire, sia ai margini di un ambito che all'esterno. Ai margini produce una variazione della superficie e della forma, mentre all'esterno produce la formazione di nuovi ambiti. Anche questa modalità di crescita è accompagnata da un livello di densità analogamente classificato.

Dette modalità hanno come diretta conseguenza che gli ambiti di un dato tessuto insediativo all'istante  $t_0$ , risultano modificati in un successivo istante  $t_1$ , per effetto della crescita.

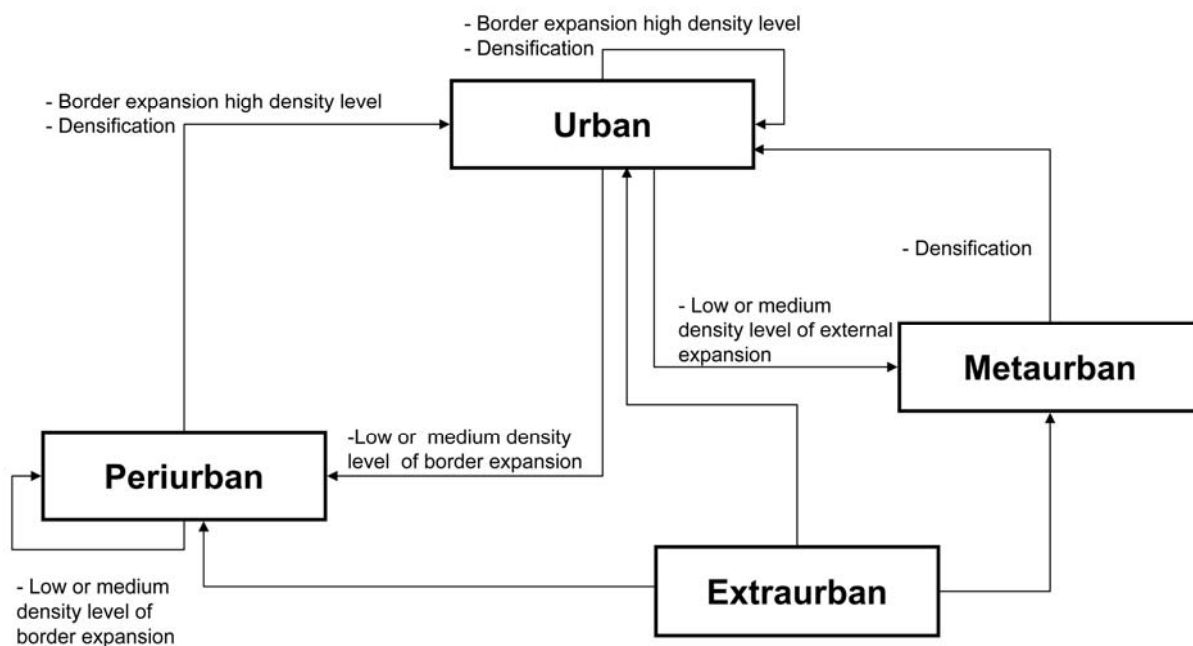


Figura 1 Meccanismi di crescita dei diversi ambiti insediativi (Gerundo, Grimaldi 2009)

Sintetizzando le conseguenze della crescita dei diversi ambiti, sono state individuate le regole di trasformazione di ciascun ambito.

Per l'ambito urbano, quando non è presente il periurbano, una crescita per espansione di margine ad alta densità determina l'ingrandimento dell'ambito urbano. Una crescita per espansione di margine a bassa o media densità determina la formazione dell'ambito periurbano, rispettivamente a bassa o ad alta densità. Una crescita per espansione esterna a bassa o media densità determina la formazione dell'ambito metaurbano.

Per l'ambito periurbano, una crescita per densificazione, determina l'accrescimento dell'ambito urbano. Una crescita per espansione di margine ad alta densità determina l'accrescimento dell'ambito urbano. Una invece per espansione di margine a media o bassa densità, determina l'accrescimento dell'ambito periurbano.

Per l'ambito metaurbano, una crescita per densificazione ad alta densità, determina la formazione dell'ambito urbano. Una invece per espansione di margine a media o bassa densità determina l'accrescimento dello stesso.

L'ambito extraurbano è di fatto l'ambito che subisce la crescita, in termini di espansione, da parte degli altri ambiti. Esso può essere soggetto ad un fenomeno di densificazione diffusa a bassa intensità.

### **3 KERNEL DENSITY**

Tra le tecniche di statistica spaziale, sviluppate a partire dalla prima legge della geografia *Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things* "(Tobler, 1970)", nel presente lavoro è stata presa in considerazione la point pattern analysis.

La point pattern analysis studia, per un dato fenomeno, come determinati eventi siano distribuiti sul territorio in modo da testare se vi sia o meno una loro concentrazione in specifiche porzioni dell'area di studio "(O'Sullivan ed Unwin, 2003)". Essa comprende una varietà di metodi per analizzare e descrivere il pattern spaziale che gli eventi puntuali descrivono nel territorio. Nel presente lavoro si fa riferimento ai metodi basati sulla densità.

I metodi basati sulla densità stimano l'intensità del fenomeno e la sua distribuzione nella regione di studio caratterizzano. In particolare, in presenza di distribuzioni di punti non omogenee, l'attenzione si sposta al calcolo della densità locale.

La tecnica adottata è la Kernel Density Estimation che può considerarsi una evoluzione del metodo del quadrat counting. Tale metodo si basa sul computo del numero di eventi del pattern che ricadono in un insieme di celle di dimensione quadrata che discretizza la regione di studio. La Kernel density Estimation si basa sul concetto di associare una densità ad ogni punto dello spazio e non soltanto ai punti in cui avviene l'evento. La densità viene stimata contando il numero di eventi in una regione, detta kernel, centrata in corrispondenza del punto dove si vuole effettuare la stima.

Indicando con  $L$  il generico punto della regione studio e con  $L_i$  le posizioni degli  $n$  eventi osservati, la densità  $\lambda(L)$  può essere stimata dalla seguente funzione:

$$\hat{\lambda}(L) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{L-L_i}{\tau}\right)$$

Il parametro  $\tau$  è la larghezza di banda, ovvero il raggio del cerchio centrato in  $L$  all'interno del quale gli eventi contribuiscono alla stima. La definizione di tale raggio influenza sensibilmente i risultati dell'analisi ed è pertanto l'aspetto più delicato da trattare nelle applicazioni del metodo.

$k()$  è invece la funzione di kernel, che pesa gli eventi a seconda della loro distanza dal punto dal quale viene stimata. In letteratura troviamo diverse funzioni di kernel, nel presente lavoro si è scelta la quartic kernel:

$$\hat{\lambda}(L) = \sum_{h_i \leq \tau} \frac{3}{\pi \tau^2} \left(1 - \frac{h_i^2}{\tau^2}\right)^2$$

dove  $h_i$  è la distanza tra l'evento  $i$ -esimo e il punto  $L$ .

L'integrazione della Kernel Density Estimation in ambiente GIS, consente di produrre mappe raster in funzione degli attributi associati alle primitive geometriche rappresentative del pattern studiato "(Bailey e Gatrell, 1995)".

#### **4 LANDSCAPE ECOLOGY**

La landscape ecology è una disciplina dell'ecologia e della geografia fisica che studia la distribuzione spaziale degli elementi nel paesaggio.

Gli elementi di base della struttura del paesaggio sono le patch la cui definizione può variare soprattutto in relazione al contesto in cui viene condotto lo studio. In generale definiamo patch ogni singola area presente nella mappa circondata da altre aree di tipo differente. Le patch sono dunque le unità minime di analisi.

Per descrivere quantitativamente la struttura del paesaggio si sono sviluppate numerose metriche con le quali si descrive la struttura spaziale del territorio o della copertura del suolo.

Gli indici sono relativi a tre diversi livelli, quella di singola patch, quella di classe e quella di territorio. Nel nostro caso l'ambito coincide con la classe di patch mentre l' $i$ -esimo sottoambito relativo al  $j$ -esimo ambito coincide con la patch.

Da un punto di vista tipologico le metriche sono classificate in diversi gruppi "(McGarigal 2002)". Nel nostro caso si è fatto riferimento ai seguenti due gruppi:

- Area density edge metrics. Questo gruppo rappresenta le metriche che si occupano della dimensione del patch e del suo perimetro.
- Shape metrics. Questo gruppo invece include metriche che definiscono la forma dei patch, a livello di singola macchia, di classe e di paesaggio.

## 5 METODOLOGIA

Lo schema metodologico proposto, implementato in ambiente GIS, si compone di due fasi:

- individuazione degli ambiti insediativi;
- analisi dei meccanismi di crescita attraverso metriche di landscape.

### 5.1 *Individuazione degli ambiti insediativi*

L'individuazione degli ambiti si basa sull'ipotesi che è la distribuzione spaziale della densità di insediamento a descrivere gli ambiti. Assunto l'edificio quale occorrenza spaziale del fenomeno considerato e considerati come attributi la superficie coperta ed il volume, si passa quindi al calcolo della densità mediante il metodo della kernel density estimation.

L'evento edifici, rappresentato attraverso una primitiva poligonale viene trasformato in una primitiva di tipo puntuale, individuando così il point pattern di partenza. Si passa quindi alla definizione della dimensione della cella e della larghezza di banda.

Per la definizione della dimensione della cella, si studia la distribuzione di frequenza delle superfici coperte degli edifici, quindi si sceglie una cella di dimensioni tali da contenere mediamente un edificio. Per quanto riguarda la definizione della larghezza di banda, la quale influenza sensibilmente il risultato "(Bailey e Gatrell , 1995)", si è partiti dalla definizione di centro abitato fornita dal nuovo Codice della strada (D.Lgs. 30 aprile 1992, n. 285) e di località abitate dell'Istituto nazionale di statistica (ISTAT). Il decreto definisce il centro abitato come raggruppamento continuo, ancorché intervallato da strade, piazze, giardini o simili, costituito da non meno di 25 fabbricati e da aree di uso pubblico con accessi veicolari o pedonali sulla strada. L'ISTAT invece come la località abitata costituita da "un aggregato di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque brevi soluzioni di continuità per la cui determinazione si assume un valore variabile intorno ai 70 metri". Combinando le due definizioni si è giunti alla definizione di una larghezza di banda di raggio 100 metri, che individua una porzione di tessuto costituita da venticinque edifici intervallati da strade e da una breve soluzione di continuità del tessuto, avente larghezza pari a 70 metri. Il risultato è una factor map rappresentativa della distribuzione spaziale dei valori di densità relativamente all'evento e ai parametri considerati.

Tali mappe, vengono clusterizzate individuando gli ambiti insediativi in cui si è pensato di suddividere il tessuto. Tuttavia la scelta del metodo di classificazione può portare a

rappresentazioni del fenomeno del tutto diverse. Volendo mettere a punto un metodo generalmente valido, si è scelta, per la definizione dei range di densità, tra le varie tecniche di classificazione, il metodo Natural Break “(Jenks, 1969)”. Quest’ultimo è un metodo di ottimizzazione iterativo che individua le fratture nella distribuzione della variabile, minimizzando la varianza interna a ciascuna classe.

In questo modo il metodo tiene conto della distribuzione di densità caratteristica del particolare tessuto che si va a studiare, poiché tale tecnica aggrega i valori a partire dalla sua distribuzione. Per quanto riguarda il numero di classi, si assume di suddividere il range in quattro classi, corrispondenti ai gradi di densità ipotizzati nel modello concettuale: *densità alta*, *densità media*, *densità bassa*, *densità molto bassa*. La corrispondente mappa prodotta viene vettorializzata, ottenendo una serie di ambiti contraddistinti da uno dei quattro gradi di densità. La successiva operazione è quella di associare a ciascun ambito il corrispondente numero di edifici in esso ricadenti. Sono stati selezionati gli ambiti con più di 25 edifici, quelli con un numero di edifici tra 5 e 25, quelli con un numero di edifici inferiore a 5 e quelli senza edifici. La scelta di tali soglie è legata alla definizione di centro abitato del nuovo codice della strada che considera un numero di 25 fabbricati e dell’istat, che pone una soglia minima di 5 abitazioni per l’individuazione di una località abitata. La presenza di ambiti senza edifici ma con un livello di densità, può essere ascritto ad un effetto che definiamo di banda legato alla modalità di calcolo della densità.

Riassumendo le potenziali combinazioni si individua un primo livello di classificazione degli ambiti che definiamo ambiti di primo riferimento

Numero edifici	Classi di densità	Ambiti
n > 25	Alta	Urbano
	Media	Periurbano/Metaurbano
	Bassa	Periurbano/Metaurbano
	Molto bassa	Extraurbano

*Tabella 1* Primo livello di classificazione degli ambiti

A partire da questo livello di classificazione, si prendono in considerazione gli ambiti con un numero di edifici inferiore e attraverso una serie di regole si giunge alla definizione degli ambiti insediativi. Gli ambiti periurbani devono rispondere ad un criterio di contiguità con l’ambito urbano per essere considerati tali. Si procede pertanto, a partire dal primo livello di periurbano, ad aggregare ad esso ambiti con livelli di densità da media a molto bassa, sia con 5-25 edifici che con 0-5 edifici, siano essi contigui o interclusi.

Quelli invece, con un livello di densità alta, contigui con l’urbano, concorrono alla formazione di quest’ultimo. Viceversa quelli metaurbani, che sono caratterizzati dall’essere al di là dell’urbano, si ottengono, o dal primo livello, aggregando ad esso gli altri per contiguità o per inclusione, oppure aggregando gli altri fino al raggiungimento di ambiti con più di 25

edifici. Per quanto riguarda quelli invece senza edifici, la loro inclusione è subordinata ad un ulteriore approfondimento conoscitivo relativo ai lotti ed al loro utilizzo.

#### CARATTERIZZAZIONE AMBITI URBANI

- ambiti urbani di primo riferimento: numero di edifici > 25 and densità alta
- inclusione ambiti con numero di edifici < di 25 and densità media-alta, contigui o interclusi

#### CARATTERIZZAZIONE AMBITI PERIURBANI

- ambiti periurbani di primo riferimento: numero di edifici > 25 and densità media/bassa, contigui all'urbano
- inclusione ambiti con numero di edifici < di 25 and densità alta-media-bassa, contigui o interclusi agli ambiti di primo riferimento

#### CARATTERIZZAZIONE DEGLI AMBITI METAURBANI

- ambiti metaurbani di primo riferimento: numero di edifici > 25 and densità media/bassa, non contigui all'urbano
- inclusione ambiti con numero di edifici < di 25 and densità alta-media-bassa, contigui o interclusi agli ambiti di primo riferimento
- aggregazione degli ambiti con numero di edifici < di 25 and densità alta-media-bassa fino alla formazione di un ambito con almeno 25 edifici

*Figura 2 regole per l'individuazione degli ambiti (Gerundo, Grimaldi 2009)*

### *5.2 Analisi dei meccanismi di crescita attraverso metriche di landscape.*

La seconda fase si compone a sua volta di due sottofasi:

- misura dei diversi ambiti,
- caratterizzazione ed interpretazione dei meccanismi di crescita.

La misura dei diversi ambiti si basa su di un set di metriche, selezionate tra quelle individuate, in grado di caratterizzare la struttura insediativa in termini di dimensione e di configurazione. Le metriche selezionate operano sia a livello di sottoambito, che corrisponde al livello di patch, sia di ambito, che corrisponde a quello di classe e di territorio.



Level	Type	Metrics	Formula	Description
patch	dimension	area	A	A = surface of patch
		building covering density	$Dc = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{A}$	V <sub>i</sub> = volume i-th built A = surface of patch
	shape	coefficient of form	$Cf = \frac{P}{P_c}$	P = perimeters of patch P <sub>c</sub> = perimeters circle with an area equivalent to that of the patch under study,
		urban fragmentation index	$Dc = l\sqrt{A}/Ar$	l = max linear dimension A = surface of subframe Ar = surface study area
		distribution index	$\bar{d}_{min} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{min}(s_i)}{n}$	d <sub>min</sub> (s <sub>i</sub> ) = minimum distances in buildings and the nearest one. n = total number of buildings
class	dimension	patch number	N	-
		total area	A <sub>T</sub>	-
		class weight	$P_j = \frac{A_j}{(A_u + A_p + A_m)}$	A <sub>j</sub> = surface j-th class A <sub>u</sub> = urban class A <sub>p</sub> = periurban class A <sub>m</sub> = metaurban class
		building covering density mean	$\bar{Dc} = \frac{\sum_j^m Dc_j \cdot A_j}{\sum_j^m A_j}$	Dc = building covering density A <sub>j</sub> = surface j-th subframe
	shape	coefficient of form mean	$\bar{Cf} = \frac{\sum_{i=1}^n Cf_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$	Cf <sub>i</sub> = coefficient of form i-th frame A <sub>i</sub> = surface i-th frame
		distribution index mean	$\bar{D}_{min} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{d}_{min} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$	d <sub>min</sub> = distribution index A <sub>i</sub> = surface i-th frame
landscape	dimension	total area	A <sub>T</sub>	-
	shape	edge density	$ED = \frac{\sum_{i=1}^n e_k}{Ar}$	e <sub>k</sub> = perimeters of k-th subframe A <sub>r</sub> = riferiment area

Tabella 2 Metriche selezionate

A livello di sottoambito, la dimensione viene investigata attraverso l'area, la configurazione invece attraverso il coefficiente di forma. Quest'ultimo è dato dal rapporto tra il perimetro del generico sottoambito e quello del cerchio avente area uguale a quella del sottoambito considerato. In questo modo si rapporta la forma del sottoambito a quella circolare espressiva della massima compattezza. Inoltre si misura la densità di copertura edilizia, intesa come il rapporto tra la superficie coperta o il volume degli edifici ricadenti in ciascun sottoambito e la superficie dello stesso, e la dispersione degli stessi, attraverso l'indice di dispersione, ottenuto dalla media tra le distanze minime esistenti tra ciascun edificio e quello più vicino.

A livello di ambito, si analizza la dimensione attraverso, il numero di patch, la dimensione, attraverso l'area totale ed il peso dell'ambito, dato dal rapporto tra la superficie totale dell'i-

esimo ambito e la sommatoria delle superfici degli ambiti urbano, periurbano e metaurbano. Per la forma si considera il coefficiente di forma medio, adottando come pesi la superficie dei sottoambiti costituenti l'ambito considerato.

Relativamente all'edificato ad essi associato, si calcola una densità di copertura edilizia media, ed un indice di dispersione medio adottando come pesi ancora la superficie dei sottoambiti costituenti l'ambito considerato.

Per l'ambito extraurbano si considerano questi ultimi due e l'area totale. Tuttavia per tener conto della modalità di consumo di tale ambito si utilizza una metrica a livello di territorio, l'edge density che misura la frammentazione del territorio di riferimento prodotta dagli ambiti urbano, periurbano e metaurbano, data dal rapporto tra la sommatoria dei perimetri degli ambiti e quella dell'intero territorio di riferimento.

La caratterizzazione dei meccanismi di crescita si interpreta studiando la variazione nel tempo delle metriche sopra elencate. Il meccanismo di espansione può essere interpretato, in termini di dimensione, dalla variazione del numero di patch e dall'area totale, nell'intervallo temporale considerato. In termini di forma invece è il coefficiente di forma, ad evidenziare se la nuova espansione si verifica con modalità più o meno frastagliate. Attraverso il peso dell'ambito invece è possibile valutare l'incidenza sul territorio di un ambito rispetto all'altro e di come questa incidenza sia variata nel tempo a seguito dell'espansione. Il meccanismo di densificazione viene interpretato attraverso la variazione di densità dell'edificato ricadente in ciascun ambito. Tuttavia a parità di densità, la distribuzione di tale edificio all'interno dell'ambito può assumere configurazione del tutto diverse in relazione alla dispersione dello stesso, pertanto per cogliere questo aspetto, si ricorre all'indice di dispersione.

## **6 CASO STUDIO: L'ANALISI EVOLUTIVA DEL TESSUTO INSEDIATIVO DEL COMUNE DI GIUGLIANO IN CAMPANIA (NA)**

La metodologia proposta è stata testata sul tessuto insediativo del comune di Giugliano in Campania in provincia di Napoli. Il fenomeno insediativo a Giugliano, connotato per la gran parte da un dirompente abusivismo, è uno dei casi più significativi e allarmanti del processo di periferizzazione nell'area metropolitana di Napoli avvenuto in questi anni. Giugliano è un Comune che cresce tumultuosamente, destinatario di flussi d'immigrati provenienti dal capoluogo e dall'area napoletana. Il territorio di Giugliano appare naturalmente destinato ad assorbire le tensioni abitative di traboccamento della allora fortissima congestione della città di Napoli. A rafforzare tale tesi è il Piano territoriale di coordinamento della Provincia di Napoli, recentemente approvato, che prevede proprio per Giugliano la densificazione quale azione indispensabile per contenere l'ulteriore consumo di suolo. Nasce l'esigenza di comprendere quale significato può assumere il termine densificazione in una realtà prevalentemente abusiva quale quella dell'hinterland napoletano e del Giuglianese in

particolare. La metodologia messa Il punto di partenza per dare risposta a tale quesito, risiede nella conoscenza e nella comprensione di come il tessuto insediativo si è evoluto nel corso degli anni e proprio in questa direzione si muove la metodologia messa a punto.

### 6.1 Individuazione degli ambiti insediativi

Le soglie storiche di riferimento rispetto alle quali è stata studiata l'evoluzione insediativa, sono il 1957, il 1981 e il 2003. A queste date si dispone di una cartografia Raster al 25000 dell'Istituto Geografico Militare serieV per l'anno 1957, di una cartografia Raster al 5000 redatta il 1981 a supporto della redazione del Piano Regolatore vigente e una Cartografia vettoriale al 2000 relativa all'anno 2003 a cui è associato un database contenente il dato volumetrico. Al fine di normalizzare il confronto tra le mappe di natura eterogenea, il lavoro fa riferimento ad una condizione di base secondo la quale a partire dalla struttura dell'edificato al 2003, si riconducono ad essa le altre soglie storiche. Con riferimento alla prima fase della metodologia, sono state costruite innanzitutto le mappe di densità. Si è quindi associato il numero di edifici e si sono classificati i differenti ambiti di densità, in funzione della numerosità degli stessi. L'aver introdotto rigide soglie legate al numero di edifici, anche se supportate da riferimenti operativi, comporta l'ascrizione all'ambito extraurbano di gruppi di edifici con basso valore di densità, che in realtà, per la loro numerosità indicano la presenza di un fenomeno in atto. Si è cercato pertanto di individuare una soglia oltre la quale si può sicuramente ritenere che la densità è trascurabile ai fini del riconoscimento degli ambiti. Si è operato a partire dal metodo di classificazione di Jank's, incrementando di volta in volta il numero di classi e riscontrando dopo un certo numero di iterazione un valore soglia stabile.

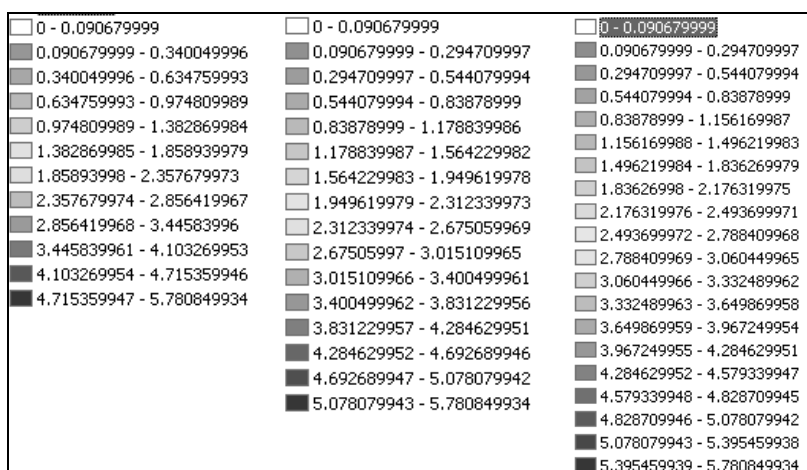


Figura 3 Stralcio delle iterazioni per l'individuazione della soglia di densità extraurbana

A partire da quest'ultimi, attraverso l'algoritmo messo a punto, articolato in regole di selezione e di successiva aggregazione, si sono ottenute le mappe rappresentative dei quattro ambiti, alle due soglie storiche.

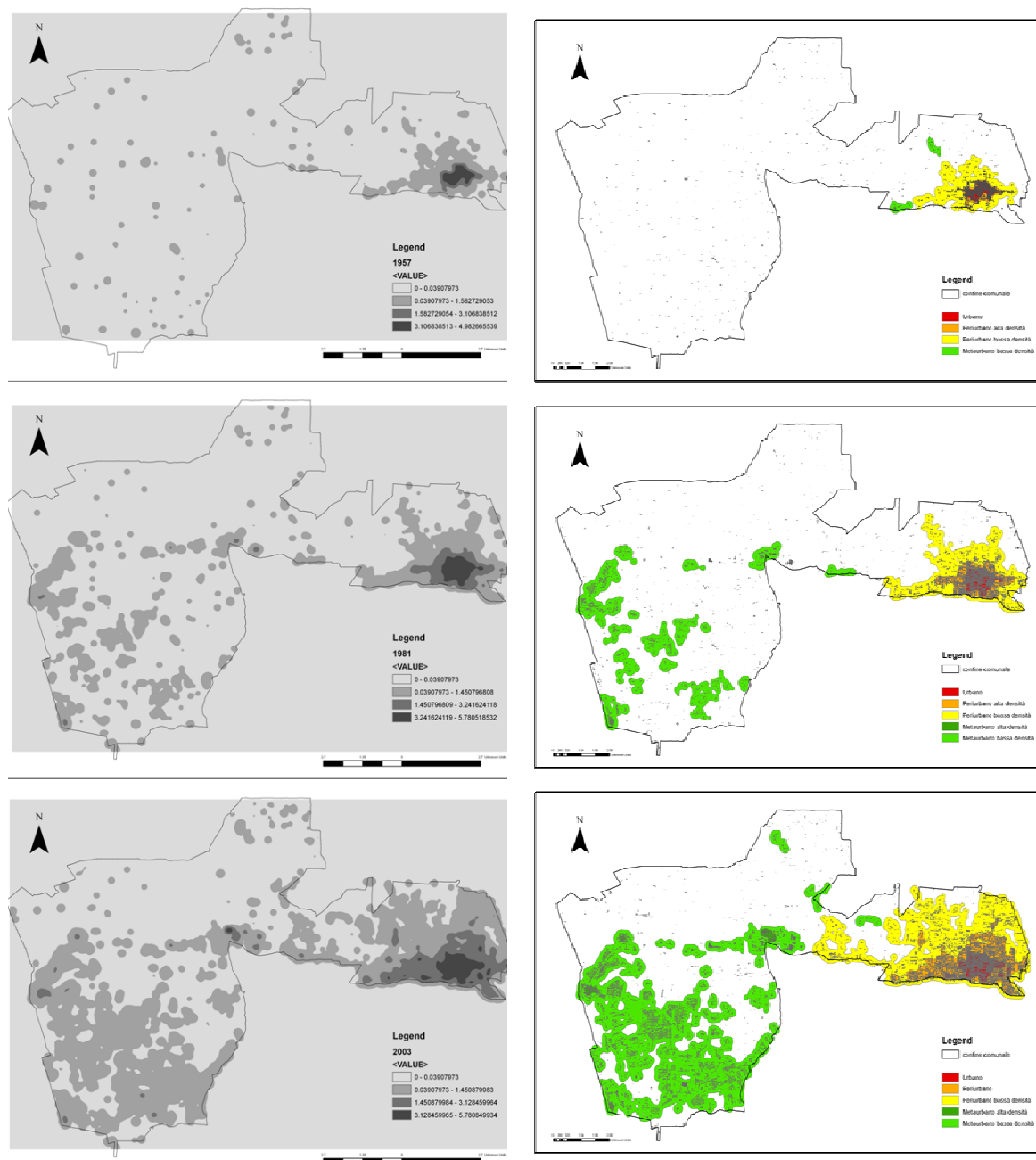


Figura 4 Mappe di densità clusterizzate e ambiti insediativi alle soglie storiche di riferimento

Con riferimento alla seconda fase della metodologia si è proceduto innanzitutto all'analisi quantitativa, prima a livello di patch e poi per aggregazione a quello di classe. Quindi si è passati alla caratterizzazione dei meccanismi di crescita con riferimento ai diversi ambiti.

ambito	1957 1981											
	Metriche di composizione						Metriche di configurazione					
	n		AREA (ha)		peso (%)		coefficiente di forma medio		densità edilizia media		indice di dispersione medio	
	1957	1981	1957	1981	1957	1981	1957	1981	1957	1981	1957	1981
urbano	1	1	42	81.43	9.30%	4.67%	1.40	1.34	4.34	4.49	7.29	8.04
periurbano alta densità	1	1	40	137.02	8.78%	7.86%	3.40	2.95	2.44	2.31	8.79	11.12
periurbano bassa densità	1	1	325	581.84	71.85%	33.37%	3.15	3.73	0.26	0.38	11.26	14.72
meturbano alta densità		1		2.89	0.00%	0.17%		1.06		2.50		14.19
meturbano bassa densità	2	16	46	940.43	10.07%	53.94%	1.31	1.71	0.13	0.22	14.39	16.94

Tabella 3 Sintesi dell'analisi quantitativa a livello di ambito nell'intervallo 57-81

ambito	variazioni percentuali 1957 1981					
	Metriche di composizione			Metriche di configurazione		
	n	AREA	peso	coefficiente di forma medio	densità edilizia media	indice di dispersione medio
	1957-1981	1957-1981	1957-1981	1957-1981	1957-1981	1957-1981
urbano	0	93.39%	-49.76%	-4.18%	3.66%	10.21%
periurbano alta densità	0	244.39%	-10.54%	-13.15%	-5.13%	26.50%
periurbano bassa densità	0	78.79%	-53.56%	18.31%	45.17%	30.68%
meturbano alta densità	1					
meturbano bassa densità	14	1962.11%	435.66%	30.81%	72.68%	17.75%

Tabella 4 Variazione percentuale a livello di ambito nell'intervallo 57-81

ambito	1957 1981											
	Metriche di composizione						Metriche di configurazione					
	AREA			densità edilizia media			Edge density			indice di dispersione medio		
	1957	1981	57-81	1957	1981	57-81	1957	1981	57-81	1957	1981	57-81
extraurbano	8964.2	7673.5	-14.40%	0.0064	0.0127	98.44%	2.61	10.14	289.22%	53.24	62.15	16.72%

Tabella 5 Sintesi dell'analisi quantitativa per l'ambito extraurbano nell'intervallo 57-81

ambito	1981 2003											
	Metriche di composizione						Metriche di configurazione					
	n		AREA (ha)		peso (%)		coefficiente di forma medio		densità edilizia media		indice di dispersione medio	
	1981	2003	1981	2003	1981	2003	1981	2003	1981	2003	1981	2003
urbano	1	4	81.43	111.66	4.67%	2.53%	1.34	1.35	4.49	4.26	8.04	9.28
periurbano alta densità	1	1	137.02	360.33	7.86%	8.16%	2.95	3.32	2.31	2.41	11.12	14.45
periurbano bassa densità	1	1	581.84	1189.74	33.37%	26.93%	3.73	5.32	0.38	0.35	14.72	21.81
meturbano alta densità	1	8	2.89	58.73	0.17%	1.33%	1.06	1.17	2.50	2.51	14.19	23.55
meturbano bassa densità	16	11	940.43	2696.63	53.94%	61.05%	1.71	4.12	0.22	0.34	16.94	19.37

Tabella 6 Sintesi dell'analisi quantitativa a livello di ambito nell'intervallo 81-03

ambito	1981 2003					
	Metriche di composizione			Metriche di configurazione		
	n	AREA (ha)	peso (%)	coefficiente di forma medio	densità edilizia media	indice di dispersione medio
	1981-2003	1981-2003	1981-2003	1981-2003	1981-2003	1981-2003
urbano	3	37.13%	-45.87%	0.82%	-5.29%	15.46%
periurbano alta densità	0	162.97%	3.81%	12.45%	4.28%	29.86%
periurbano bassa densità	0	104.48%	-19.28%	42.67%	-7.21%	48.18%
metaurbano alta densità	7	1929.66%	701.20%	11.03%	0.50%	65.99%
metaurbano bassa densità	-5	186.74%	13.19%	141.26%	55.02%	14.33%

Tabella 7 Variazione percentuale a livello di ambito nell'intervallo 81-03

1981 2003												
ambito	Metriche di composizione						Metriche di configurazione					
	AREA			densità edilizia media			Edge density			indice di dispersione medio		
	1981	2003	81-03	1981	2003	81-03	1981	2003	81-03	1981	2003	81-03
extraurbano	7673.5	5000.01	-34.84%	0.0127	0.96%	-24.41%	10.14	19.80	95.17%	62.15	87.91	41.46%

Tabella 8 Sintesi dell'analisi quantitativa per l'ambito extraurbano nell'intervallo 81-03

## 6.2 Interpretazione dei meccanismi di crescita nell'intervallo 1957-1981

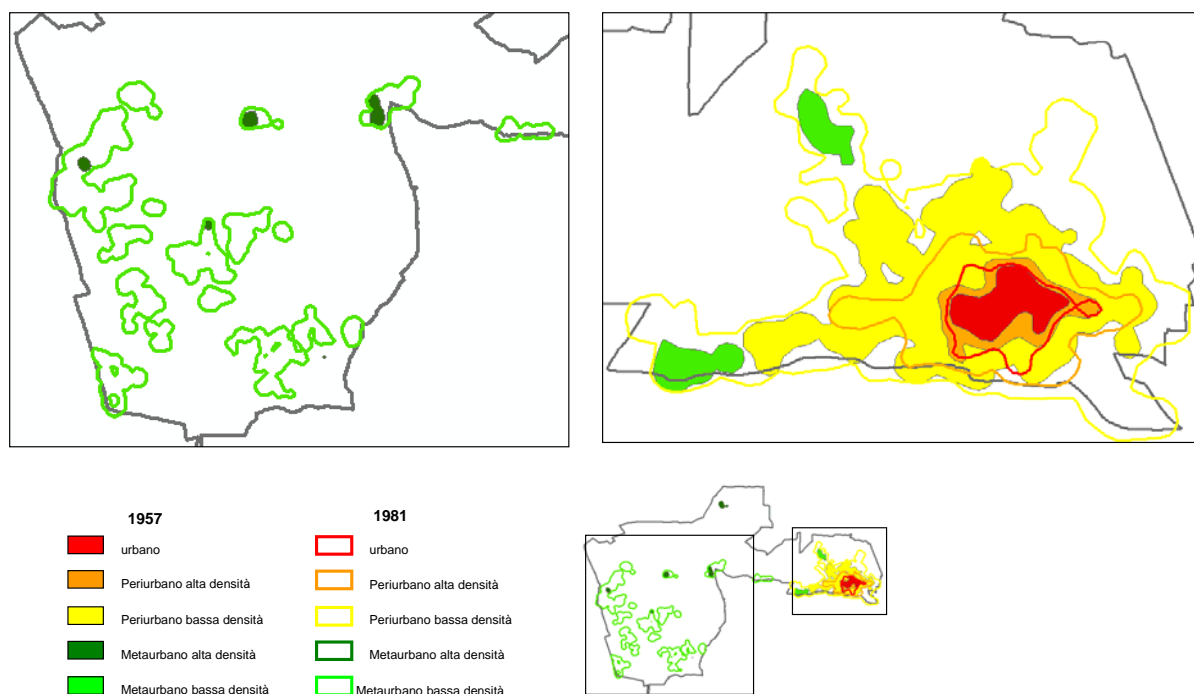
Nell'intervallo temporale 1957-1981 il tessuto insediativo subisce una sostanziale modificazione. Una stima complessiva mostra innanzitutto che il peso dell'ambito urbano rispetto agli altri, si riduce quasi della metà, quello invece del periurbano ad alta densità si mantiene pressoché costante. Viceversa al 1981 il peso dell'ambito periurbano a bassa densità e quello metaurbano a bassa densità si impongono sugli altri. Tuttavia mentre il primo subisce una sostanziale riduzione di quasi il cinquanta per cento il secondo diviene l'elemento caratterizzante il tessuto insediativo. Si registra la formazione di ben sedici sottoambiti () con un peso che di fatto si quintuplica.

Il meccanismo di crescita per l'ambito urbano risulta essere prevalentemente di espansione in quanto la densità si mantiene pressoché costante. L'espansione, di margine, ha portato quasi al raddoppio della superficie dello stesso. Tuttavia la riduzione del coefficiente di forma testimonia il fatto che essa è avvenuta secondo una modalità di ricucitura delle frange.

Il meccanismo di espansione dell'ambito urbano al 1957 va a coincidere con la densificazione di una buona parte dell'ambito periurbano ad alta densità e di parte di quello a bassa densità. In particolare il primo subisce una espansione che triplica quasi la superficie dello stesso ma dal punto di vista della configurazione porta ad una ricucitura dei margini. La diminuzione della densità volumetrica accompagnata da una riduzione dell'indice di dispersione medio infine da conto di come la crescita sia avvenuta secondo logiche volte alla dispersione insediativa.

La densificazione dell'ambito periurbano a bassa densità avviene anche per effetto dell'espansione di margine dell'ambito periurbano ad alta densità. Ad essa si aggiunge una

consistente espansione di margine caratterizzata da un 'aumento del coefficiente di forma, segno che la logica espansiva ha assunto connotati volti alla frastagliatura dei margini. L'aumento dimensionale dello stesso risulta accompagnato da un incremento della densità volumetrica e da un aumento dell'indice di dispersione.



*Figura 5 Map overlay tra ambiti al 1957 e ambiti al 1981*

Il meccanismo di espansione di margine dell'ambito periurbano a bassa densità va a coincidere, in parte, con quello di densificazione dei due ambiti metaurbani a bassa densità che vengono letteralmente fagocitati dallo stesso.

Come già anticipato tale ambito è l'elemento che contraddistingue la crescita che il tessuto ha subito. La formazione di ben sedici sottoambiti, di differente dimensione testimonia che la crescita ha seguito una logica volta alla frammentazione del tessuto. Una frammentazione per nuclei connotata da un basso grado di densità.

La formazione dei sottoambiti metaurbani a bassa densità è il frutto di una logica generativa di tipo aggregativo intorno alle enucleazioni di 5-25 edifici e ai gruppi di case sparse.

Gli esiti dell'avvicinarsi delle successive fasi della crescita insediativa si riassumono nella modificazione dell'ambito extraurbano che come definito è la porzione di territorio contraddistinta da una sostanziale integrità del paesaggio, anche se interessata da un certo grado di trasformazione. Inevitabilmente la crescita degli ambiti comporta una riduzione della superficie dell'ambito extraurbano. In particolare nell'intervallo di tempo 56-81 si registra una riduzione del 14% in termini di dimensione ed un aumento della frammentazione documentata attraverso l'incremento dell'edge density segno che la crescita insediativa è



complessivamente avvenuta secondo logiche tese alla dispersione. Ad avvalorare tale tesi è la diminuzione della densità volumetrica e l'aumento dell'indice di dispersione.

### 6.3 Interpretazione dei meccanismi di crescita nell'intervallo 1981-2003

Nell'intervallo 1981-2003 il tessuto insediativo subisce una ulteriore consistente modificazione. Complessivamente si registra una crescita, se pur differente, dei diversi ambiti insediativi.

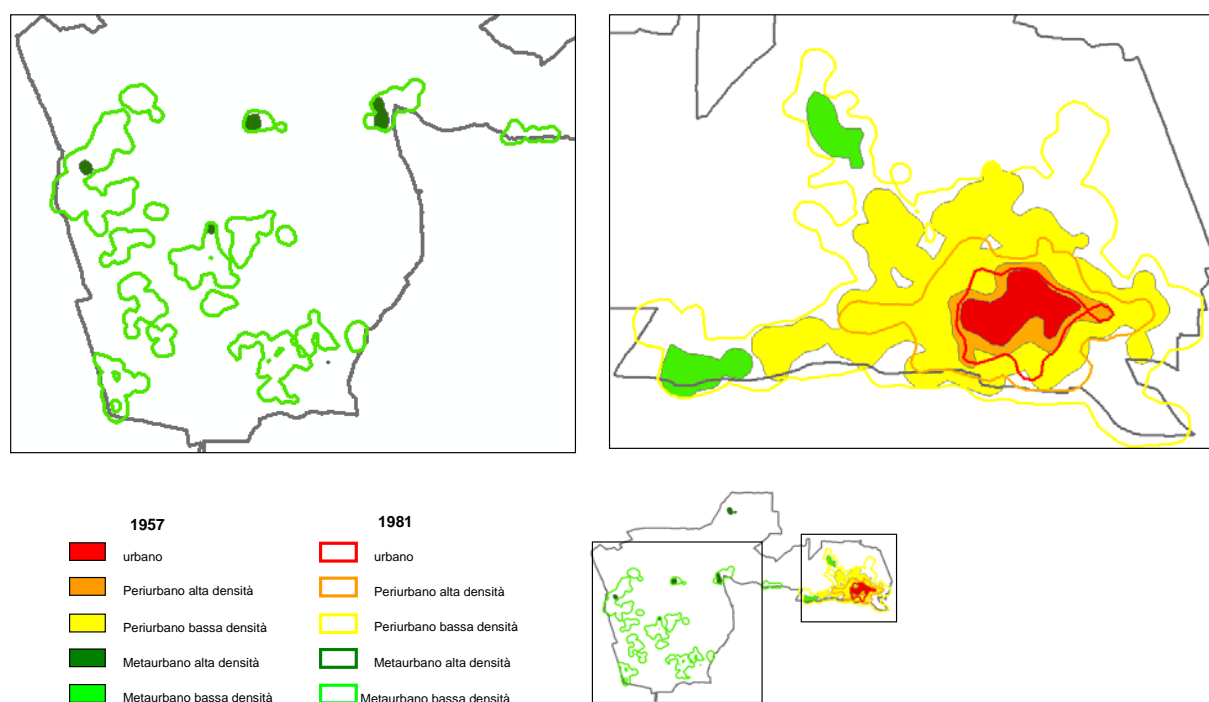


Figura 6 Map overlay tra ambiti al 1981 e ambiti al 2003

L'ambito urbano che anche in questo arco temporale riduce il suo peso, di fatto è interessato da una espansione di margine e da una espansione esterna. Entrambe producono un aumento complessivo di circa il 37% della superficie, aumento ascrivibile maggiormente all'espansione di margine. Tale espansione avviene secondo una logica che abbiamo definito frammentante poiché il coefficiente di forma per il nucleo di maggiore dimensione passa da 1.33 a 1.37, segno che il margine è evoluto verso una configurazione più frammentata. Inoltre l'espansione è accompagnata da una riduzione della densità e da un aumento della dispersione.

L'ambito periurbano ad alta densità subisce una crescita di tipo espansivo molto intensa dovuta in parte, alla densificazione dell'ambito periurbano a bassa densità. Dal punto di vista della dimensione si registra l'aumento della superficie di quasi una volta e mezzo con un aumento della densità volumetrica. Viceversa dal punto di vista della configurazione, si



registra un aumento del grado di frastagliatura dei margini e dell'indice di dispersione, segno che la maggiore occupazione di suolo è avvenuta ancora una volta con caratteri diffusivi.

L'ambito periurbano a bassa densità cresce per espansione ma rispetto al 1981 riduce il suo peso. Interessante è la formazione di nuclei periurbani immersi all'interno di ambiti a bassa densità, così come altrettanto interessante è la formazione di 3 nuovi piccoli sottoambiti urbani, ascrivibile all'espansione dell'ambito periurbano ad alta densità ovvero alla densificazione che ha interessato l'ambito periurbano a bassa densità.

L'ambito meturbano a bassa densità subisce, in quest'intervallo temporale, una crescita significativa, che letta unitamente alla riduzione del numero di sottoambiti fa evincere come il meccanismo di espansione a bassa densità, abbia determinato la saldatura dei sottoambiti originari, segno che la nuova edificazione ha seguito una logica generativa di tipo aggregativo. I caratteri di questa espansione determinano ancora un aumento della frastagliatura, si registra inoltre un aumento della densità edilizia accompagnato da un aumento dell'indice di dispersione medio.

## **7 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI**

Il contributo proposto e testato sul territorio di Giugliano in Campania propone innanzitutto un metodo per individuare la superficie urbanizzata fondato su regole e parametri generalmente validi, applicabile per analizzare e comparare l'evoluzione di qualsiasi tessuto.

Inoltre fornisce una modalità sistematica di lettura dei meccanismi di crescita a partire da un'insieme di regole, supportate da un sistema di indicatori facilmente implementabili.

La proposta consente di differenziare la superficie urbanizzata in funzione della densità dando forma ai diversi ambiti in cui si è ipotizzato di suddividere il tessuto insediativo. In questo modo si specializza l'analisi dei meccanismi di crescita.

I risultati individuati mettono in luce una serie di questioni che aprono a sviluppi ulteriori e problematiche che vanno corrette testando il modello su diverse realtà.

Innanzitutto emerge la necessità di verificare entro che range di valori possiamo considerare che varino i diversi valori di densità caratterizzanti gli ambiti insediativi in cui si è pensato di scomporre il tessuto insediativo. Per dare risposta a questo quesito è necessario testare il modello su differenti tessuti insediativi al fine di individuare la gamma di possibili valori che assume la distribuzione di densità.

Inoltre l'aver ricercato un valore soglia per l'ambito extraurbano tale da ritenere minimale il fenomeno edilizio ha di contro prodotto un aumento dell'effetto di banda che inevitabilmente produce un aumento della superficie degli ambiti a bassa densità.

Per superare tale effetto si dovrebbe variare la funzione di kernel utilizzandone una che pesi gli eventi in modo più sensibile rispetto al punto di misura. Questo richiede l'ausilio di software specifici che consentono questa variazione.

In ultimo in merito alla scelta del set di metriche, si è visto che, in realtà, il coefficiente di forma non riesce a caratterizzare l'allungamento degli ambiti, ma solo la frastagliatura, per cui è necessario integrato il set di metriche proposto. A tal fine si è ipotizzato di includere l'urban fragmentation index (Romano, 2001), che consente di caratterizzare l'allungamento degli ambiti. Sempre in merito alle metriche è interessante anche per quest'ultime studiare un possibile campo di variazione dei valori in relazione a differenti tessuti insediativi. In questo modo si potrebbero caratterizzare e comprendere meglio i meccanismi di crescita.

## **8 Bibliografia**

- Bailey T.C. e Gatrell A.C., (1995) "Interactive Spatial Data Analysis, Longman, Harlow", Essex, England;
- Caglioni M., (2005), "Uno strumento per l'analisi morfologica delle città: fragstats" Atti della XXVI conferenza italiana di scienze regionali, Pisa.
- Gerundo R., Grimaldi M., (2009) "Density measurements and landscape metrics in the analysis of urban form" Atti della conferenza INPUT08, Como
- Detragiache A., (2003), "Dalla Città diffusa alla città diramata" F. Angeli, Milano
- Lausch A., Herzog F., (2002) "Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscapechange: issues of scale, resolution and interpretability"
- Ecological indicator, Elsevier
- Jenks, George F., and Fred C. Caspall (1971). Error on choroplethic maps: Definition, measurement, reductions. *Annals of the Association of American Geographers*, 61(2): 217-244
- McGarigal K. (2002), FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps, Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.
- Murgante B., (2004) "L'uso delle tecniche di analisi spaziale per la delimitazione delle aree periurbane del sistema insediativo della provincia di Potenza" Archivio di studi urbani e regionali N°81, edizioni Franco Angeli, Milano.
- Romano B., Tamburini G., (2001) "Gli indicatori di frammentazione e di interferenza ambientale nella pianificazione urbanistica" Atti della XXVI conferenza italiana di scienze regionali, Venezia
- Tobler W., (1970), "A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region," *Economic Geography*, 46(2):234-240

## **ABSTRACT**

This work is framed within the research line focused on the quantitative analysis of the urban morphologies and their evolution. The methodology includes the scanning of the settlement fabric in built-up areas characterized by a different density level and the analysis of their possible morphologic evolution. Local density measurements have been used in order to trace the frames via kernel density tools. A set of metrics linked to landscape ecology has been used in order to describe the potential dynamics of increase in such areas. The work underlines how the combined use of such spatial analysis techniques implemented in GIS environment can give us an answer to the issue of settlement increase measurement.

**Key words:** settlement classes, kernel density, landscape metrics, dynamics of increase.