

ALESSANDRO D'AGOSTINO, MARCO MAGGIOLI

MODELLI REDISTRIBUTIVI DELLA POPOLAZIONE
PER ANALISI GEOGRAFICHE A SCALA REGIONALE:
IL CASO DEL PERIURBANO DI ROMA¹

1. INTRODUZIONE – Il presente lavoro costituisce uno dei primi possibili momenti di approdo di un percorso di ricerca avviato da chi scrive circa due anni fa. Nel corso di questo periodo si è cercato di operare secondo un duplice orientamento: da un lato un processo di affinamento delle metodologie di analisi e delle tecniche di rappresentazione nella direzione di un generale miglioramento dei processi di automazione per la distribuzione della popolazione, dall'altro un consistente ampliamento dell'area oggetto di studio passata da 6 comuni della provincia di Roma (D'Agostino e Maggioli, 2006), ad una "lettura" integrata dei 25 centri che rappresentano l'intera prima fascia metropolitana del comune di Roma.

Da un punto di vista più generale le considerazioni da cui si sono sviluppate le analisi che vengono qui presentate riguardano essenzialmente due tematiche.

In primo luogo, è innegabile che almeno a partire dalla metà degli anni '90 l'immagine che diverse analisi ci restituiscono del nostro Paese appare quasi completamente stravolta, da nord a sud, dalla diffusione urbana e insediativa (Clementi e Dematteis, 1996). Esempi in questa direzione non mancano. Da Torino, il cui ampliamento supera le colline e si dipana nella campagna circostante, all'area metropolitana milanese che si estende fino alle Prealpi varesine, dallo *sprawl* veneto – basato anche su abusi di ordine fiscale, sociale e ambientale che sconvolgono le preesistenze storiche – alla megacittà lineare della costiera adriatica alimentata da turismo e terziario. E ancora la "centralità" della capitale da ricercare nella sua campagna dove evidenti si mostrano le occasioni

¹ Il presente contributo è stato realizzato in piena collaborazione tra gli autori. Tuttavia si precisa che Alessandro D'Agostino è autore dei paragrafi 2, 3 e 4 e Marco Maggioli dei paragrafi 1, 5 e 6.

di saldatura dei tessuti sfilacciati delle periferie sanate e abusive e dove si formano le riconessioni tra i medi e piccoli centri della provincia o verso sud, l'irrazionalità della "megalopoli campana", gli oltre ottocento chilometri della città costiera calabrese, jonica e tirrenica.

In questo senso, appare evidente dunque come lo spazio suburbano costituisca oggi il luogo della più recente redistribuzione produttiva e insediativa attorno al quale si vanno riorganizzando le intere strutture regionali, sia da un punto di vista strettamente urbanistico-territoriale, sia più ampiamente nel senso delle trasformazioni legate alla morfologia sociale. L'ambito suburbano assume connotati per alcuni versi autonomi rispetto al nucleo centrale con spinte contemporaneamente orientate all'innovazione e alla conservazione.

Al tempo stesso, e parallelamente, sembra di poter affermare come da qualche tempo sia venuta meno quella spinta dominante che solitamente ha fatto pensare all'area metropolitana come al prodotto di un polo centrale che plasma e governa, a sua immagine e somiglianza, la produzione dello spazio circostante. Anche se può apparire paradossale, tale meccanismo sembra rintracciabile proprio nell'area romana dove da qualche anno ormai si assiste ad una sorta di "travaso" di significative quote di popolazione da Roma verso i comuni limitrofi. Indagare pienamente in questa direzione, circa le motivazioni cioè dello spostamento della popolazione verso ambiti suburbani e periferici, appare in questa sede decisamente fuorviante e tuttavia un piccolo accenno va necessariamente effettuato. Ad esempio, la crescita dei valori immobiliari ha certamente inciso sulle scelte localizzative di quanti hanno colto l'opportunità legata ad una rivalutazione del proprio immobile e, vendendolo, hanno potuto riacquistare fuori città a prezzi più contenuti. Pur non potendo chiaramente stimare il numero di persone che si trasferisce specificatamente per motivi legati all'eccessivo costo delle abitazioni, è interessante notare tuttavia come verso i primi 30 comuni per dimensione demografica della provincia si siano spostati da Roma, solo nel corso del 2005, oltre 20.000 persone con un incremento del 20,9% rispetto all'anno precedente (Comune di Roma, 2007).

È in atto dunque una vera e propria "pressione" sulla cosiddetta "prima corona" metropolitana che ha come caratteristiche principali a

nostro avviso la rapidità di trasformazione, il notevole consumo di suolo e lo svuotamento e/o impoverimento ecologico. Solo a titolo indicativo (Tab. I) vale la pena ricordare ad esempio che nel corso degli ultimi cinquanta anni i comuni della prima corona hanno visto crescere l'ammontare complessivo della popolazione residente in misura del 160% a fronte di una media provinciale del 63,4% e del comune del 54,2% e che le abitazioni costruite dopo il 1945 rappresentano in questi comuni l'87% circa dell'intero patrimonio residenziale (80% su base provinciale; 79% su base comunale).

Tab. I – Variazioni della popolazione e delle abitazioni per epoca di costruzione.

	POPOLAZIONE			ABITAZIONI		TOTALE
	N.	1951	2001	PRIMA 1945	DOPO 1945	
ROMA	1	1.651.754	2.546.804	198.154	754.239	952.393
1° CORONA (*)	25	165.513	430.330	21.237	140.133	161.370
2° CORONA (**)	24	100.158	209.997	15.639	82.496	98.135
ALTRI COMUNI	63	233.245	326.195	37.065	93.714	130.779
TOTALE	113	2.150.670	3.513.326	272.095	1.070.582	1.342.677
	N.	VAR POP 1951-2001		% ABZ PRIMA 1945	% ABZ DOPO 1945	TOTALE
ROMA	0,9%	54,2%		20,8%	79,2%	100%
1° CORONA (*)	22,1%	160,0%		13,2%	86,8%	100%
2° CORONA (**)	21,2%	109,7%		15,9%	84,1%	100%
ALTRI COMUNI	55,8%	39,9%		28,3%	71,7%	100%
TOTALE	100,0%	63,4%		20,3%	79,7%	100%

Fonte: elaborazione su dati ISTAT, anni vari.

Da un punto di vista più strettamente metodologico uno dei problemi più importanti dell'analisi sugli spazi di margine risiede nella loro delimitazione e classificazione funzionale anche in considerazione del fatto che le informazioni analitiche utilizzate più di frequente, come la densità della popolazione, non riescono ad illustrare pienamente la "reale" distribuzione spaziale degli elementi in gioco.

I progressivi miglioramenti delle tecniche avvenuti negli ultimi anni, riferibili soprattutto alla produzione di immagini rilevate dai sensori ottici satellitari, hanno concretamente operato verso il superamento del semplice concetto di *mapping* della forma fisica urbana, a tutto vantaggio di una diversificazione spaziale che contempra con maggiore attenzione anche le mirate funzionalità sociali ed economiche.

In questo campo d'indagine risulta in costante crescita il numero di ricerche orientate all'integrazione tra lo *zoning*², tipico dell'attività di rilevamento statistico, e i *set ancillari* delle coperture del suolo opportunamente rilevate dai satelliti.

Questo processo, che contempla la fusione di tutte le informazioni territoriali e di tutti i relativi strumenti per gestirle, sta generando nella comunità scientifica una vigorosa attività creativa rivolta a nuove e complesse funzioni algoritmiche, spesso non presenti nei *software* GIS.

In questo settore d'indagine, sono dunque già numerose le ricerche che utilizzano il *Remote Sensing*, sia per ciò che riguarda i trasporti e lo sviluppo residenziale o industriale, sia riguardo il controllo della diffusione del consumo di suolo, come nel recupero e nella valorizzazione di aree urbane depresse. In generale, la tendenza risultante è quella di integrare l'osservazione satellitare con la pianificazione e la gestione urbana.

In ultima analisi, la metodologia che qui viene presentata si caratterizza per punti di forza quali la capacità di superare la rappresentazione zonale dove esiste una forte omogeneità del dato spaziale e per punti di debolezza come l'accuratezza del metodo di classificazione *Remote Sensing* nella stratificazione dei *pixel* secondo il *Land Use*.

2. CLASSIFICAZIONI E TRASFORMAZIONI DI DATI TELERILEVATI PER L'ANALISI GEOGRAFICA URBANA – L'analisi geografica sulle aree urbane viene solitamente sostenuta dal rilevamento e dall'aggiornamento dei dati sull'utilizzazione del suolo ottenuti spesso, soprattutto per le grandi aree me-

² Malgrado il termine *zoning* sia utilizzato prettamente in urbanistica come metodologia per suddividere il territorio in aree omogenee, in questo contesto va inteso come aggregazione areale di tipo vettoriale con relativo attributo.

tropolitane, attraverso l'impiego di foto aeree o immagini da satellite. Queste ultime, intese come immagini digitali multispettrali e multitemporali riprese da dispositivi di osservazione terrestre, hanno avuto più o meno recentemente un'ampia diffusione, soprattutto grazie ai miglioramenti intervenuti nella scala di acquisizione spaziale.

Sebbene considerate da più parti carenti nella loro definizione spaziale rispetto ai più recenti strumenti, attualmente vengono ancora largamente impiegate sia immagini Landsat (TM ed ETM+), storicamente utilizzate per indagini sui sistemi urbani a scala regionale delle grandi città nordamericane (Jensen, 1983), che immagini SPOT, per studi sulle più vecchie e compatte aree urbane europee (Welch, 1982). Il loro apparente scarso dettaglio viene in generale compensato dalla capacità di delineare, in una visione sinottica globale, la morfologia urbana complessiva.

Al presente più conosciute e diffuse sono quelle ad elevata risoluzione spaziale (<5m/pixel) dei sensori di ultima generazione (Ikonos, QuickBird e WorldView) che si presentano come gli strumenti più adatti per indagini atte a discriminare il più denso ed eterogeneo *milieu urbano*. Nonostante la loro notevole definizione nell'acquisizione, anche questi ultimi dispositivi consegnano tuttavia diverse problematiche legate soprattutto al costo dei dati e ad una richiesta eccessiva di risorse informatiche, nel momento in cui se ne richiede una visione dimensionale territoriale più ampia.

Indipendentemente dalle tipologie satellitari scelte, nelle analisi territoriali in ambito urbano, si cerca comunque di sfruttare al meglio i risultati di elaborazioni effettuate su immagini telerilevate compiute dagli specialisti del settore, che in generale forniscono due tipologie di rappresentazione:

- a) immagini digitali riprodotte dalla semplice composizione di bande;
- b) immagini digitali riprodotte da classificazione automatica attraverso processi algoritmici.

Nel primo caso, i prodotti vengono in genere sottoposti ad una semplice, soggettiva e pertanto discutibile, interpretazione e catalogazione visiva. Nel secondo caso invece, soprattutto attraverso l'utilizzo di dati campionati e delle relative firme spettrali caratteristiche (*training* e *si-*

gnatures), il prodotto finale è costituito da mappe tematiche classificate del territorio osservato e l'immagine assume immediatamente, in modo più o meno fedele e obiettivo, un'identità vicina alle reali distribuzioni delle coperture urbane.

Se da una parte migliora progressivamente la capacità di acquisire in tempi ridotti informazioni spaziali per grandi settori di territorio, dall'altra si rileva come l'utilizzo dei dati telerilevati in analisi sulle aree urbane soffra comunque di elementi di criticità strettamente correlati alla natura del dato stesso. Basti pensare in questo senso alle caratteristiche geometriche dell'immagine, alla compatibilità in risoluzione spaziale rispetto alla scala dei fenomeni nell'area investigata o alla scala di misurazione degli attributi che s'intende analizzare.

A prescindere dai livelli di risoluzione spaziale, non meno problematico è l'aspetto relativo alla scelta della metodologia di classificazione più adeguata, quella in grado cioè di restituire una distribuzione delle coperture del suolo possibilmente più conforme alla realtà territoriale.

Da questo punto di vista bisogna sottolineare come la classificazione ricavata in ambito urbano, a causa della variabilità delle sue superfici, risulti in genere meno rigorosa rispetto a quella in ambito naturale e le "firme spettrali" caratteristiche non sempre riconducibili automaticamente alle reali superfici. Per migliorarne i risultati sono stati quindi introdotti diversi algoritmi di classificazione per *pixels* "urbani" che utilizzano i concetti di probabilità a priori o quelli di processamento a posteriori (Barnsley e Barr, 1996). Nuove metodologie di classificazione di tipo "soft" (Bayesiani, Dempster-Shafer e teorie *fuzzy*) sono capaci inoltre di migliorare l'efficienza della tematizzazione riguardo le complesse *mixture* di superfici di materiali caratteristici. In aggiunta, sono stati creati nuovi metodi di elaborazione che combinano i dati spettrali con le misure delle forme e della tessitura urbana. Alcuni di questi metodi si basano sull'informazione spettrale estratta direttamente dalle immagini (Baraldi e Parmiggiani, 1990), mentre altri utilizzano dati ancillari (Sadler, Barnsley e Barr, 1991). I risultati finali sono le misure da sottoporre ad analisi e variano dai semplici indicatori di *texture* (Durand et al.,

1994) fino alle stime della dimensione frattale dell'urbanizzato (De Cola, 1993)³.

Ad ogni modo, le coperture del suolo, che risultano da queste elaborazioni sulle immagini, costituiscono l'informazione geografica qualitativa fondamentale, quella spazialmente discreta facilmente gestibile attraverso qualsiasi strumento *GIS/Raster-based* e quella utilizzata, talvolta in maniera limitata, per tematizzare aree vaste o per studi di modellistica diacronica di crescita urbana.

Queste marginalità applicative trovano un loro reale riscontro soprattutto in campo urbanistico, dove si rende necessario un dato territoriale ad alto potere discriminante, provvisto di una sua individuale parametrizzazione in stretta relazione con criteri di tipo morfologico, funzionale e normativo ben definiti.

Generalmente le classificazioni *land use* impiegate nella pianificazione urbana fanno riferimento a ristretti criteri funzionali che possono riassumersi in quattro fondamentali chiavi interpretative: le abitazioni residenziali, gli edifici lavorativi, quelli per l'intrattenimento e le infrastrutture. Queste classi di valutazione prioritaria risultano apparentemente in contrasto con le basilari tassonomie delle coperture acquisite dagli strumenti del telerilevamento che in genere fanno riferimento a classi di coperture (urbano o generalmente costruito, suolo, acqua, prato, bosco, ecc.) estrapolate ed interpretate su valori radiometrici riflessi dalla superficie terrestre.

La conversione tra questi due tipi di catalogazione è possibile avvalendosi di una considerevole quantità di dati ancillari ed altre fonti interpretative, ma la probabilità di giungere ad attribuzioni errate risulta comunque elevata e si rende quindi necessaria una valutazione dell'accuratezza. In questo senso, un criterio generale consiste nell'applicare delle trasformazioni sugli attributi nominali iniziali per discriminare meglio le coperture, in modo da identificare l'utilizzazione e decodificare

³ Sebbene molteplici, questi vari approcci algoritmico-statistici per la classificazione urbana vengono caratterizzati dal fatto di essere dei metodi per lo più sperimentali e quindi generalmente ancora non inclusi nelle *routines standard* dei *software* di processamento commerciali più famosi.

il dato qualitativo di un *grid* con l'obiettivo di ottenerne uno più strettamente quantitativo.

Un primo passo può essere quello di attivare un procedimento di ri-classificazione per *pixel* utilizzando informazioni ancillari e successivamente passare, attraverso una varietà di tecniche, da una distribuzione discreta ad una spazialmente continua.

Per ottimizzare queste conversioni si ricorre in genere ai dati demografici o a quelli socio-economici che arricchiscono in maniera complementare la creazione di questi nuovi modelli. Il dato statistico, ottenuto da rilevazioni periodiche, può essere utilizzato infatti prima in combinazione con l'informazione *land cover* e dopo con quella *land use*. L'unico vincolo è quello di utilizzare una "geografia" comune derivata da trasformazioni *vector-raster* delle classi di uso del suolo o delle delimitazioni delle aree censuarie *stricto sensu*.

In generale, queste conversioni consentono non solo analisi multisorgente, libere da suddivisioni spaziali, ma soprattutto una rappresentazione eccellente delle distribuzioni relative alle statistiche derivate da dati di censimento in ambiti urbani o suburbani.

Il metodo di ri-localizzazione (o modello redistributivo) delle variabili statistiche *vector* ad un modello di tipo *raster* consente di evidenziare proprio l'utilizzazione del suolo così dedotta, confermandone il ruolo chiave ed importante soprattutto nei processi analitici sui modelli urbani.

3. LA REDISTRIBUZIONE DEL DATO STATISTICO – Attualmente, con l'ampio spettro di dati reperibili, un'analisi geografica sulle aree urbane, o ancor meglio su quelle metropolitane, non può basarsi esclusivamente sul "riconoscimento" analitico della città e della sua morfologia, ma deve certamente integrare negli approcci anche uno studio delle caratteristiche demografiche, sociali, economiche e comportamentali delle popolazioni.

Com'è noto, la distribuzione di popolazione in aree urbane e suburbane è da considerare fattore critico per ogni decisione di pianificazione efficiente, basti pensare, ad esempio, alla rete dei flussi di spostamento della popolazione oppure alle nuove localizzazioni di mercati o

centri di commercio delle quali, preventivamente, occorre conoscere il *geomarketing*.

Risulterebbe insomma estremamente interessante “riconoscere”, anche nel modello *raster* dell’immagine da satellite, una serie di informazioni essenziali, come ad esempio quelle relative alla popolazione, alle caratteristiche che ne delineano la struttura e la composizione (età, origine etnica, condizione sociale, ecc.), oltre che, logicamente, comprenderne la loro localizzazione.

In questa dimensione più analitica, un ruolo determinante può assumerlo dunque il dato censuario. Esso, com’è noto, risulta aggregato su aree di sezioni di censimento che generano difficoltà interpretative a causa dell’uniformità distributiva presente nelle singole unità areali. Ogni risultato statistico viene condizionato in sostanza dall’entità poligonale impiegata con relativa carenza informativa di dettaglio. Lo spazio viene limitato ad un modello di dati discreto con relativi oggetti e *database* spaziali che possono subire ulteriori elaborazioni secondo criteri altrettanto discreti.

Dalla classificazione nominale, effettuata sulle bande originarie del dato satellitare, sono possibili ulteriori trasformazioni o riclassificazioni (un esempio potrebbe essere la distinzione tra suoli urbani e non urbani), nel tentativo di proporre nuove classi tematiche che possano correlarsi a funzionalità proprie (*land use*) più specifiche. Ciò accade quando si riesce a “collegare” in modo più ragionato e complesso il significato delle classi di copertura con quegli indicatori che rappresentano gli effetti della distribuzione di popolazione, come ad esempio, la maggiore o minore densità (Mesev, 1998).

Il risultato finale consiste nel superamento della distribuzione uniforme della popolazione urbana secondo il modello delle rappresentazioni coroplate per giungere ad un livello di osservazione più dettagliato che meglio identifichi i luoghi in cui essa risiede, vive o lavora.

Con questa logica negli ultimi anni sono nati nuovi filoni di ricerca orientati sia allo sviluppo di nuovi algoritmi finalizzati ad una più efficiente discriminazione e localizzazione delle strutture urbane, sia alla migliore caratterizzazione dell’oggetto urbano (complessi di edifici residenziali, villette a schiera, capannoni industriali, ecc.), con informazioni provenienti da fonti censuarie.

Certamente tutto ciò non costituisce un modello perfetto ma piuttosto un processo che, alla lunga, tende a migliorare la capacità di rappresentazione delle densità di popolazione entro e fuori i limiti urbani in modo meno vincolante.

Il metodo si fonda essenzialmente su un procedimento di trasformazione in grado di sostituire le scale di misura da categorie nominali ad attributi basati su scale binarie, ordinali, ad intervalli o rapporti, secondo una procedura più o meno complessa il cui risultato finale sia una cosiddetta “densificazione” dei dati urbani.

Dalla classificazione nominale (tipo *land cover*), si passa, anche attraverso i dati statistici, a distribuzioni ordinali di densità (tipo *land use*) fino all'applicazione di un particolare metodo di interpolazione areale tra dati censuari ed ancillari di uso del suolo. Questo *step* rappresenta il *dasymetric mapping*, il cui obiettivo principale è quello di creare un modello di *mapping* che consenta stime della popolazione derivabili anche al di fuori dei limiti amministrativi imposti (Langford, Maguire e Unwin, 1991).

Ma che cos'è precisamente il *dasymetric mapping*? Tralasciando appositamente le numerose equazioni che ne dimostrano la teoria, si può dire che una cartografia dasimetrica è un tipo di rappresentazione tematica la cui distribuzione del fenomeno territoriale esula dai vincoli imposti dai limiti spaziali delle zonazioni di tipo statistico. Uno dei risultati più evidenti risiede nell'effettivo miglioramento della risoluzione nella visualizzazione dei dati statistici.

Questa metodologia fa riferimento essenzialmente ad un modello cartografico *area-based* che trae origine da un lavoro eseguito nella prima metà del secolo scorso da Wright (1936). Il principio di base, molto semplice, è quello di suddividere delle zonazioni spaziali (*source*) in unità più piccole la cui consistenza interna in termini di densità sia la più rappresentativa possibile.

Sin dalla sua prima applicazione, le metodologie dasimetriche sono state varie (McCreary, 1984; Eicher e Brewer, 2001), tutte improntate verso la possibilità di discriminare le distribuzioni interne delle variabili sotto osservazione nella zonazione spaziale sorgente. Ognuno di questi approcci garantisce che, qualunque discontinuità contrassegnata dai limiti in cui la variabile “vive”, venga rappresentata per meglio riflettere

la reale “geografia” del fenomeno e che, al contrario della rappresentazione coropleta, non vi siano interpretazioni fittizie date dalla localizzazione arbitraria dei limiti delle unità areali.

4. L'APPLICAZIONE ALLA PRIMA CORONA URBANA DI ROMA: CLASSIFICAZIONI, TRASFORMAZIONI E *MAPPING* D'ASIMETRICO – I modelli d'interpolazione areale dipendono, in primo luogo, dall'accuratezza del metodo di classificazione *Remote Sensing* nello stratificare accuratamente i *pixels* secondo il loro significato funzionale (residenziale, commerciale, industriale, istituzionale o ricreativo).

Lo studio qui intrapreso contempla spazialmente i comuni della prima corona di Roma nel tentativo di rappresentare il “reale utilizzo” di suolo urbano attraverso un particolare modello di discriminazione tematica, che integri già *a priori* le informazioni provenienti dai dati spaziali dei censimenti con quelle provenienti da immagini satellitari (Rocha e Tenedório, 2001).

La classificazione dell'urbano viene quindi articolata in tre fasi principali utilizzando dati spettrali acquisiti dal Landsat ETM+ (del 6/2/2000) e dati quantitativi delle sezioni di censimento (ISTAT, *Censimento generale della popolazione e delle abitazioni*, 2001).

1. Una pre-classificazione urbano-non urbano così ripartita:

- a) una classificazione di saldatura tra dati satellitari e censuari da cui risulta un *mapping* intermedio della prima dualità urbano-non urbano;
- b) una classificazione dei dati immagine che utilizza bande spettrali e bande contestuali (espressione dell'informazione di tipo spaziale), ovvero un indice di vegetazione TVI (*Transformed Vegetation Index*) e l'insieme delle bande contestuali di densità dell'edificato ad uso abitativo (edifici/km²) e della popolazione (popolazione/km²).

Il risultato intermedio sarà l'*overlay* dei due moduli con la relativa discriminazione del *pattern* urbano-non urbano.

2. L'applicazione di un classificatore *bayesiano*.

Ovvero l'individuazione, tramite processo di trasformazione condizionale (*if...then...else*), delle probabilità *a priori* di particolari indica-

tori tipologici di sintesi (TB, CS, AUN, MFB e SFB), con relativa corrispondenza logica con quelli dei censimenti ISTAT.

Il risultato della classificazione/trasformazione *bayesiana* consiste in un *set* di immagini di probabilità *a posteriori* relative a ciascuna classe di sintesi con valori percentuali di occorrenza nel *pixel*.

3. Una procedura di post-classificazione.

Attraverso ulteriori confronti vengono definite tutte le classi nominali di urbanizzazione (Tab. II).

Tab. II – Corrispondenza tra gli indicatori di sintesi elaborati e quelli ISTAT.

Indicatori ISTAT		SCALA QUANTITATIVA	SCALA QUALITATIVA
Codice	Descrizione	Indicatori di sintesi delle tipologie del costruito	Post-classificazione "funzionale" (Classi nominali di Urbanizzazione)
E3	Edifici ad uso abitativo	TB Numero totale di edifici ad uso abitativo	—
E4	Edifici e complessi di edifici (utilizzati) per alberghi, uffici, commercio e industria, comunicazioni e trasporti	CS Numero di edifici principalmente destinati a funzioni non residenziali	CS Edifici o gruppi di edifici destinati a Commercio e Servizi
E9 E10	Edifici ad uso abitativo costruiti prima del 1919 Edifici ad uso abitativo costruiti tra il 1919 e il 1945	AUN Numero di edifici residenziali costruiti prima del 1945	AUN Edifici caratteristici dei Centri Storici
E18 E19	Edifici ad uso abitativo con 3 piani Edifici ad uso abitativo con 4 piani o più	MFB Numero di edifici multi-familiari, costruiti dopo il 1945	MFB Edifici residenziali multipiano recenti
E16 E17	Edifici ad uso abitativo con un piano Edifici ad uso abitativo con 2 piani	SFB Numero di edifici singoli-familiari, costruiti dopo il 1945	SFB-TRUE Edifici a bassa verticalità recenti

Fonte: elaborazioni e correlazioni su base ISTAT.

Dall'applicazione di questa classificazione, che comprende dunque sinergicamente dati statistici censuari e *Remote Sensing*, ne deriva una mappatura tipologica dell'edificato.

La risultante rappresentazione *bayesiana* contribuisce ad identificare da un lato i macro processi in atto e dall'altro a fornire i dettagli nella distribuzione delle varie tipologie insediative dell'area di studio.

Successivamente, vengono attivate una serie di procedure di trasformazione sui modelli di dati a disposizione per una piena integrazione tra dati *Remote Sensing* e dati censuari secondo il modello dasimetrico. Trascurando gli aspetti di calcolo e gli algoritmi applicati si può sintetizzare la procedura considerando l'unità amministrativa parcellizzabile in unità spaziali più piccole, congruenti con la risoluzione spaziale e le classi ricavate da *Remote Sensing* in cui la popolazione viene ridistribuita.

Il processo nella sua complessità prevede di ricavare:

- a. la quota della popolazione totale di sezione censuaria da assegnare a ciascuna classe di urbanizzazione;
- b. la quota che evidenzia le differenze areali delle classi entro ogni sezione;
- c. la frazione della popolazione totale della sezione distribuita per ciascuna classe o densità di urbanizzazione in funzione delle suddette quote (punti a e b);
- d. il numero di residenti assegnato ad una cella con determinata classe di urbanizzazione.

In sintesi, dalle zone censuarie originarie, i dati di popolazione vengono ridistribuiti sui *pixels* con un processo d'interpolazione (Mennis, 2003) basato su due fattori: uno che riguarda la differenza relativa in densità di popolazione per le quattro classi di urbanizzazione e l'altro secondo la percentuale di area totale occupata da ciascuna delle classi di urbanizzazione per ciascuna zona censuaria. Nel primo caso viene effettuato un campionamento empirico delle densità di popolazione per ogni categoria di urbanizzazione. Nel secondo caso si realizza un'elaborazione di tipo *Areal-Weighting*, che migliorerà l'accuratezza della redistribuzione della popolazione in accordo con i dati ancillari, per cui invece di considerare solo la natura della classe verranno prese in considerazione anche le differenze areali tra le varie classi.

5. ANALISI DEI RISULTATI – I risultati delle analisi descritte in precedenza possono essere letti attraverso due distinte modalità che riguardano da un lato gli “effetti” dell’analisi *bayesiana* applicata al *Remote Sensing*, che permette una prima valutazione delle morfologie urbane (si consideri che il livello di attendibilità del dato in questo studio è superiore al 75%), e dall’altro il risultato derivante dal *dasymetric mapping*, che consente una prima valutazione circa i *patterns* di distribuzione della popolazione.

Una prima possibile lettura riguarda l’analisi dell’elaborazione tratta dalla classificazione *bayesiana*, con riferimento dunque a quegli aspetti legati più direttamente alla morfologia urbana e al peso insediativo presente all’interno degli areali comunali. Si presentano di seguito quattro esempi che illustrano in sintesi alcune delle dinamiche osservate in quattro ambiti della prima corona metropolitana, riferiti ai seguenti quadranti territoriali.

- A) *Zona nord*. Si tratta nel complesso di quattro comuni (Campagnano, Anguillara Sabazia, Formello e Sacrofano) che registrano, nell’ultimo censimento, una popolazione complessiva di circa 38.000 abitanti (poco meno del 9% della prima corona metropolitana) e che hanno visto crescere la popolazione, a partire dal 1951, in misura del 251%. In questi comuni, come effetto della crescita demografica, si evidenzia un’alta presenza dell’edificato diffuso più recente, caratterizzato da basse densità abitative nei comuni di Anguillara Sabazia e di Formello. Il fenomeno appare particolarmente chiaro nelle aree più prossime al comune di Roma dove viene in qualche modo evidenziato il processo di saldatura in atto. Le caratteristiche morfologiche che sembrano emergere con più risalto possono essere ricondotte a due tipologie prevalenti: di tipo lineare nelle espansioni recenti di Formello e Anguillara e più di tipo accentrato nei contesti di Campagnano e Sacrofano (Fig. 1A).
- B) *Zona nord orientale*. I quattro comuni dell’area (Monterotondo, Mentana, Sant’Angelo Romano e Guidonia Montecelio) presentano una popolazione complessiva di circa 120.000 abitanti (il 27% della prima corona metropolitana), la cui crescita nell’intervallo 1951-2001 (+273%) è addirittura superiore alla già elevata crescita media

dell'intera prima corona. Rispetto all'areale precedente evidenti sono gli alti valori di densità abitativa, con addensamenti non episodici di edifici costruiti più recentemente e con tipologie a più piani. Altrettanto chiara appare la presenza di consistenti nuclei di espansione residenziale addensati linearmente come propaggini di saldatura lungo le vie di accesso e di collegamento verso il comune di Roma come nei comuni di Monterotondo e Guidonia o come veri e propri nuclei "a nebulosa" tra i comuni di Mentana e Guidonia stessa. Il centro abitato più piccolo di Sant'Angelo Romano appare invece contenuto entro i confini del nucleo storico consolidato senza particolari fasi espansive (Fig. 1B).

- C) *Zona orientale*. In connessione e in continuità con l'area precedente, si nota la presenza di ampie zone di espansione tra Tivoli e Guidonia caratterizzate da prevalenti tipologie ad alta densità abitativa che, nonostante la presenza di aree "non urbanizzate" che interrompono la continuità, presentano fenomeni di saldatura ormai consolidata non solo in direzione della capitale, ma tra loro (Fig. 1C).

- D) *Zona sud orientale – Castelli Romani*.

Ciampino. È caratterizzato da uno sviluppo urbano recente con elementi di spiccata diffusione "a nebulosa" degli edifici ad uso abitativo a più piani, successivi al 1945. All'interno dell'ambito comunale si rileva l'ulteriore espansione dell'edificato della località di Santa Maria delle Mole, anch'essa di sviluppo recente, che si contraddistingue tuttavia per una forma per così dire "orbitale" con un asse centrale, caratterizzato da qualche episodio, edificato storicamente, lungo l'infrastruttura viaria principale, ma più ampiamente evidenziato dalla presenza di nuclei isolati di recente edificazione a più piani.

Albano Laziale. Il centro abitato principale si distingue per uno sviluppo urbano di carattere prevalentemente storico con una netta separazione tra il consolidato e l'edificato più recente. Interessante appare la conformazione urbana recente del nucleo abitato di Pavona che assume a sua volta una forma di tipo "stellare" seguendo l'andamento degli assi infrastrutturali in direzione nord-sud-est.

Marino. Anche in questo caso si evidenzia la decisa separazione tra il centro storico consolidato e l'espansione più recente che assume,

a differenza del caso precedente, una conformazione non più “stellare”, ma di tipo genericamente lineare che segue l'andamento degli assi viari di raccordo tra le diverse entità urbane.

Grottaferrata. Presenta moderata diffusione di edifici multipiano di epoca recente e una più intensa presenza di edificato storicamente consolidato. Va precisato tuttavia come in questo caso il territorio comunale si completi con la presenza di un fitto tessuto di abitazioni a bassa densità quale forma decisiva di occupazione del suolo.

Frascati. Mostra un *mix* edificato con un *pattern* eterogeneo più antico frammisto ad episodi di costruzioni più recenti. Si nota inoltre la presenza di abitazioni recenti in stretta correlazione con il centro abitato principale. Scarse appaiono infine le relazioni tra edificato e infrastrutture viarie.

Castel Gandolfo. Fa rilevare notevole compattezza dell'edificato storico consolidato ad eccezione di una limitatissima gemmazione edilizia a fini ricreativi lungo le sponde del lago (Fig. 1D).

Un'altra possibile lettura riguarda invece l'analisi dell'elaborazione tratta dall'interpolazione dasimetrica dove entro ogni sezione di censimento vengono evidenziati i singoli valori di densità (*pop/pixel*). Una prima rappresentazione in tal senso fornisce una coppia di mappe esemplificative che possono fornire diversi spunti di approfondimento. Nel primo caso (Fig. 2A) appaiono evidenti nei comuni di Albano Laziale e Ciampino i fenomeni di diffusione di alte densità di popolazione in areali marginali ai centri urbani a testimonianza di un loro dinamismo propulsivo del tutto autonomo da Roma. Questi fenomeni di addensamento si manifestano con particolare intensità lungo le direttrici stradali principali ma, come la metodologia dasimetrica dimostra, anche attraverso la presenza di una diffusione non trascurabile di popolazione in zone di confine tra le entità amministrative comunali chiaramente riconoscibili. Nel secondo caso (Fig. 2B), si conferma quanto già indicato con la densità di popolazione lungo i margini comunali direttamente confinanti con la capitale.

6. CONCLUSIONI – Il lavoro qui proposto presenta, in sequenza, due approcci metodologici che, utilizzando immagini da satellite, dati stati-

stici e dati ancillari, consentono da una parte una rappresentazione della distribuzione delle varie tipologie insediative dell'area di studio (attraverso classificazioni e trasformazioni delle coperture individuate), dall'altra, sulla base delle categorie di densità urbana dedotte nella prima fase, un *mapping* delle stime della popolazione derivabili all'interno dell'unità statistica fondamentale rappresentata dalla sezione di censimento.

I risultati prodotti da queste elaborazioni confermano, in primo luogo, un generale legame tra i processi di diffusione urbana al di fuori della cintura metropolitana e l'assetto infrastrutturale delle principali vie di comunicazione. Inoltre, come l'indagine spaziale dimostra, confermano l'espandersi – senza soluzione di continuità – di tipologie costruttive a bassa densità abitativa che si allargano “a nebulosa” rispetto a tutte le altre tipologie più o meno recenti.

L'altro aspetto, quello relativo all'informazione derivante dalla rappresentazione della densità di popolazione discriminata ad un livello di risoluzione superiore all'unità di sezione censuaria, apre nuovi scenari interpretativi legati ai risultati ottenuti e costituisce una stimolante evoluzione rispetto alla più classica mappa o carta coropleta. Le possibilità offerte dal *dasymetric mapping* nelle indagini di tipo diacronico eseguite sul dato censuario potrebbero incoraggiare qualsiasi studioso ad intraprendere nuovi percorsi di ricerca, considerata anche la possibilità di intercambio tra il dato di popolazione con qualsiasi altro dato statistico socio-economico.

Da un punto di vista metodologico si può affermare come si renda comunque necessario, a prescindere dalla risoluzione spaziale satellitare, un generale miglioramento delle tecniche di classificazione dell'immagine da cui estrarre tutte le informazioni ancillari alla base delle tecniche di rappresentazione qui affrontate.

Da un altro punto di vista tuttavia andrebbe considerata l'opportunità, per territori anche limitati spazialmente, di un utilizzo più massiccio di queste tecniche che potrebbero essere di ausilio ai processi di analisi e pianificazione del territorio. Si pensi ad esempio alla pianificazione dei sistemi di trasporto pubblico o alle reti di distribuzione dei servizi o ancora alla “pressione ambientale”.

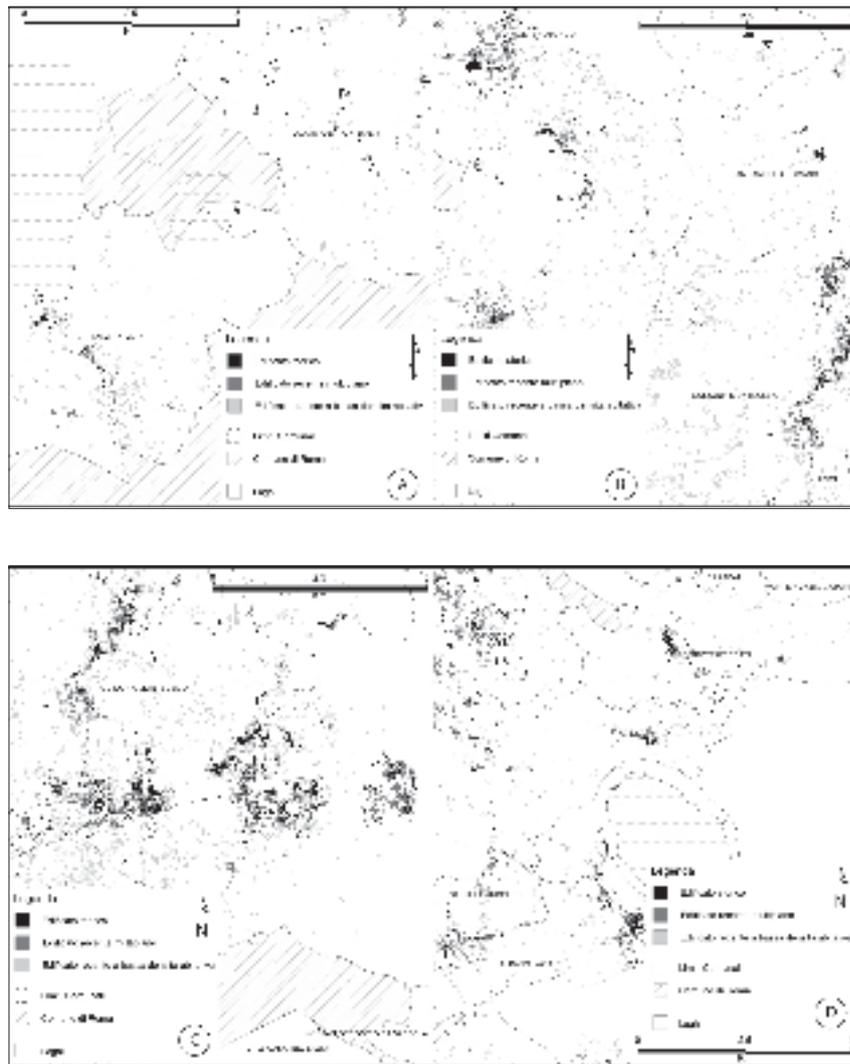


Fig. 1 – Alcuni esempi di tipologie dell'edificato desunte dai processi di classificazione/trasformazione *bayesiana*. A) Anguillara Sabazia e Campagnano di Roma; B) Monterotondo, Mentana, Sant'Angelo Romano e Guidonia Montecelio; C) Tivoli e Guidonia Montecelio; D) Castelli Romani.

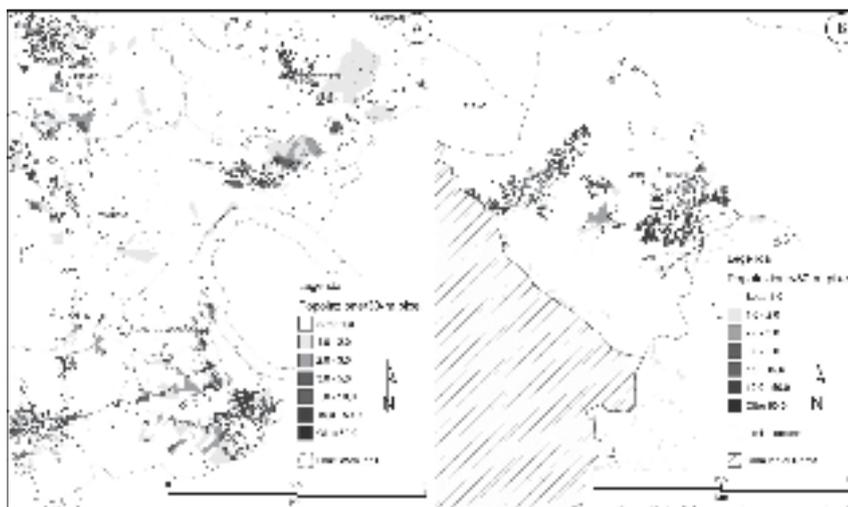


Fig. 2 – Alcuni esempi della distribuzione stimata della popolazione utilizzando il metodo *dasymetric mapping*. A) Fenomeni di diffusione di elevate densità di popolazione in aree marginali di piccoli centri urbani; B) Fenomeni di addensamento di popolazione lungo margini comunali confinanti con il comune di Roma.

Roma, Sapienza Università di Roma, Dipartimento AGEMUS – Sezione di Geografia

BIBLIOGRAFIA

- BARALDI A. e PARMIGGIANI F., “Urban area classification by multi-spectral SPOT images”, in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28, 1990, pp. 674-680.
- BARNSLEY M.J. e BARR S.L., “Inferring urban land use from satellite sensor images using kernel-based spatial reclassification”, in *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 1996, pp. 949-958.
- CLEMENTI A. e DEMATTEIS G., *Le forme del territorio italiano*, voll. 1-2, Roma-Bari, Laterza, 1996.

- COMUNE DI ROMA, *Rapporto sull'economia romana 2005-2006*, Roma, 2007.
- D'AGOSTINO A. e MAGGIOLI M., "Rappresentazione geografica integrata di dati censuari e dati Remote Sensing: analisi «entro» gli spazi sub-urbani di Roma", *Atti della X Conferenza Nazionale ASITA* (Bolzano, 14-17 novembre 2006), 2006.
- D'AGOSTINO A. e MAGGIOLI M., "Dall'osservazione telerilevata all'analisi urbana. Modelli integrati di dati per un caso di studio", in MORRI R. e PESARESI C. (a cura di), *Innovazione cartografica e Geografia, Semestrare di Studi e Ricerche di Geografia*, 1, 2007, pp. 95-109.
- DE COLA L., "Multifractals in image processing and process imaging", in LAM N.S.N. e DE COLA L. (a cura di), *Fractals in Geography*, Englewood Cliffs (New Jersey), Prentice Hall, 1993, pp. 213-227.
- DURAND P., HAKDAOUI M., CHOROWICZ J., RUDANT J.-P. e SIMONIN A., "Caractérisation des textures urbaines sur image radar VARAN par approche morphologique et statistique. Application à la ville de Luc (sud-est de la France)", in *International Journal of Remote Sensing*, 15, 1994, pp. 1064-1078.
- EICHER C.L. e BREWER C.A., "Dasymetric mapping and areal interpolation: implementation and evaluation", in *Cartography and Geographic Information Science*, XXVIII, 2, 2001, pp. 125-138.
- ISTAT, *Censimento generale della popolazione e delle abitazioni*, anni vari.
- JENSEN J.R., "Urban/suburban land use analysis", in COLWELL R.N. (a cura di), *Manual of Remote Sensing, Second Edition*, Falls Church (Virginia), American Society of Photogrammetry, 1983, pp. 1571-1666.
- LANGFORD M., MAGUIRE D.J. e UNWIN D.J., "The areal interpolation problem: Estimating population using remote sensing in a GIS framework", in MASSER I. e BLAKEMORE M. (a cura di), *Handling Geographical Information: Methodology and Potential Applications*, Londra, Longman, 1991, pp. 55-77.
- McCREARY jr. G.F., "Cartography, geography and the dasymetric method", *Proceedings of the 12th Conference of International Cartographic Association*, Marrickville, Elsevier, 1984, pp. 599-610.

- MENNIS J., "Generating surface models of population using dasymmetric mapping", in *The Professional Geographer*, LV, 1, 2003, pp. 31-42.
- MESEV V., "The use of census data for urban image classification", in *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, LXIV, 5, 1998, pp. 431-438.
- ROCHA J. e TENEDÓRIO J.A., "Integrating Demographic GIS and Multisensor Remote Sensing Data in Urban Land Use/Cover Maps Assembly", *IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, 2001, pp. 46-51.
- SADLER G.J., BARNSLEY M.J. e BARR S.L., "Information extraction from remotely-sensed images for urban land analysis", *Proceedings of the 2nd European GIS Conference (EGIS'91)*, Amsterdam, EGIS Foundation, 1991, pp. 955-964.
- WELCH R., "Spatial resolution requirements for urban studies", in *International Journal of Remote Sensing*, 3, 1982, pp. 139-146.
- WRIGHT J., "A method of mapping densities of population with Cape Cod as an example", in *Geographical Review*, 26, 1936, pp. 103-110.

SUMMARY:

In relation to socio-economical and demographic issues, the possibility of setting out information, in a much more detailed form than the common groupings found in national population censuses, has represented a stimulating field of investigation for some years. The creation of a raster model for any socio-economical index foresees the application of a particular form of the technique known as *areal interpolation*, with the census data added *a posteriori* over the covers classified by images (Landsat TM and/or SPOT). The main objective of this work is the experimental application of a classifying method that is able to enter all information deriving from the spatial data of the census together with those deriving from remote sensing in urban areas, for zones which have their administrative boundaries adjacent to the municipality of Rome. From an interpretative spatial analysis point of view, this method offers several useful hints towards interpreting the existing "urban" elements.

RÉSUMÉ:

En matière de questions socio-économiques et démographiques, la possibilité de disposer d'une information beaucoup plus précise que les habituels groupements de population proposés par les recensements nationaux, s'est révélée, durant des années, un stimulant domaine de recherche. La création d'une trame modèle pour tout index socio-économique prévoit la mise en place d'une forme spécifique de la technique connue sous le nom d'*interpolation des zones*, où les données du recensement sont ajoutées *a posteriori* sur les zones répertoriées par images (Landsat TM et/ou SPOT). Le principal objectif de ce travail est la mise en place expérimentale d'une méthode de classification susceptible de tenir compte à la fois des informations qui proviennent des données spatiales du recensement et de celles issues de l'ancien bon sens en zones urbaines, dans des zones qui ont leurs frontières administratives contiguës à celles de la municipalité de Rome. Du point de vue de l'analyse interprétative spatiale, cette méthode offre de nombreuses et utiles suggestions pour comprendre les éléments "urbanistiques" existants.