

XXVII CONFERENZA ITALIANA DI SCIENZE REGIONALI

SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI E PROCESSI DECISIONALI DELLE POLITICHE URBANE: UN CASO DI STUDIO DI ROUGH SET ANALYSIS RELATIVO ALLA PIANIFICAZIONE DELLE ZONE RESIDENZIALI DEL COMUNE DI CAGLIARI

Sabrina LAI, Corrado ZOPPI

Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Sezione di Urbanistica, Università di Cagliari, Piazza d'Armi 16, 09123 Cagliari, Italy; tel.: 070 6755210, 070 6755216, telefax: 070 6755215; e-mail: sabrinalai@unica.it, zoppi@unica.it

SOMMARIO

La pianificazione urbana si fonda, in Italia, sul piano urbanistico comunale, uno strumento che individua la definizione dell'assetto futuro della città grazie ad un dispositivo normativo in cui le politiche del territorio sono fondate sulla sua zonizzazione. Questa dovrebbe costituire la sintesi della base di conoscenza del territorio e delle scelte relative ai futuri possibili, con riferimento all'integrazione delle diverse funzioni urbane.

In questo saggio si discute e si applica una procedura di analisi del piano urbanistico comunale di Cagliari, città capoluogo della Regione Sardegna, concernente la funzione residenziale. Tale procedura mette in relazione la geografia delle zone destinate alle abitazioni con un sistema di variabili che rappresenta ed esprime l'integrazione di diversi saperi territoriali che concorrono, in termini incrementali, alla definizione della conoscenza dell'ambiente urbano.

Le scelte che la zonizzazione evidenzia in relazione agli assetti futuri della città vengono esaminate criticamente in termini di coerenza con questo sistema conoscitivo.

La procedura si articola in tre fasi. La prima, analitico-descrittiva, consiste nella definizione e nello sviluppo di un sistema informativo territoriale orientato alla conoscenza dell'ambiente urbano, che consente di contestualizzare la pianificazione delle zone destinate alla residenza attraverso procedure di analisi spaziale.

La seconda, di natura inferenziale, indaga le relazioni tra sistema conoscitivo e scelte relative alla definizione dell'assetto futuro delle aree per le abitazioni. Si sviluppa, a partire dalla base informativa costruita nella prima fase, un'applicazione di *Rough Set Analysis* (RSA), in cui, a fronte di una complessità di relazioni tra sistema conoscitivo e scelte di pianificazione, si punta a riconoscere i pattern delle combinazioni tra conoscenza territoriale e scelte di piano. Questi pattern sono denominati *regole di decisione*.

La terza fase è di verifica delle regole di decisione. In questa fase, a partire dai pattern delle combinazioni tra conoscenza territoriale e scelte di piano, si simulano scenari della geografia della funzione residenziale urbana e si confrontano le simulazioni con la situazione reale. È, così, possibile valutare quanto le regole di decisione siano efficaci nella definizione di previsioni sui futuri della configurazione spaziale delle aree residenziali di Cagliari.

Le regole di decisione definite tramite l'applicazione di RSA possono costituire un punto di partenza qualificato per ulteriori passaggi di approfondimento concernenti la modellizzazione dei processi decisionali relativi alla pianificazione urbana.

La metodologia sperimentale che qui si propone può essere facilmente esportata per indagare i pattern della configurazione spaziale delle aree residenziali in altri contesti metropolitani analoghi a quello di Cagliari, sia italiani che esteri. Per i contesti italiani l'esportabilità è, senza dubbio, più facile, in quanto le normative urbanistiche relative a zonizzazione, destinazioni d'uso, vincoli e grado di trasformabilità, sono caratterizzate da una significativa omogeneità, per cui le combinazioni tra conoscenza territoriale e scelte di piano che generano le regole di decisione possono essere facilmente confrontate da contesto a contesto. Per i contesti esteri, la metodologia può essere agevolmente applicata, purché quest'applicazione sia preceduta da un attento studio comparato delle normative della pianificazione urbana.

1. INTRODUZIONE¹

In questo saggio si analizza e si discute il rapporto tra l'assetto delle aree residenziali del comune di Cagliari ed un sistema di variabili descrittive di questo assetto, definito con il contributo di diverse campi disciplinari riferiti all'ambiente urbano, attraverso un'applicazione della metodologia della *Rough Set Analysis* (RSA). Il comune di Cagliari è il capoluogo regionale della Sardegna e l'area urbana più importante dell'Isola. Attraverso la RSA si genera un insieme di regole che evidenziano la correlazione tra sottoinsiemi di variabili e aree residenziali. Un'area del comune si considera residenziale se il Piano urbanistico comunale generale (PUC) la identifica come tale. Le regole offrono agli attori pubblici e privati, che siano singoli cittadini o gruppi, associazioni, movimenti, imprese, settori della pubblica amministrazione ecc., una chiave di lettura e spiegazione dell'assetto delle aree residenziali e della sua dinamica evolutiva, e costituiscono una solida base per discutere, riconoscere ed indirizzare gli interessi, spesso conflittuali, e le aspettative, per la pianificazione dell'assetto di queste aree.

L'assetto spaziale delle aree residenziali urbane si considera connesso: alla distribuzione della popolazione residente nel territorio comunale, alle norme attuative del PUC relative alle zone residenziali, alle caratteristiche degli usi del suolo urbani, alla localizzazione delle zone vincolate a non essere trasformate (fasce di rispetto cimiteriali; zone umide; beni storici, archeologici, paesaggistici; fascia costiera; aree protette).

L'obiettivo del saggio si configura come piuttosto complesso, in quanto molte sono le variabili che entrano in gioco, e non sono a disposizione, a priori, narrative riguardanti correlazioni tra queste variabili. L'approccio della RSA è specificamente definito ed utilizzato per trattare questo genere di problemi, generalmente indicati come questioni di *Knowledge Discovery in Databases* (KDD), e per questa ragione il caso di studio che qui si presenta si fonda su questa metodologia. È proprio questo l'aspetto metodologico fondamentale di questo saggio: delineare un percorso applicativo della tecnica della RSA all'analisi spaziale di fenomeni urbani.

Vi sono molte tipologie di applicazione della RSA e diversi campi disciplinari che la hanno utilizzata. Per un'attenta discussione di queste applicazioni, dei loro pregi e dei loro difetti, si vedano: Pawlak (2001) per i campi farmacologico, della tecnica e della pratica bancaria, meccanico, linguistico, delle scienze ambientali, della scienza dei materiali, grafologico e genetico; Carlin *et al.* (1998) per il campo della diagnosi gastroenterologica; Gardner *et al.* (1996) per il campo radiologico; Peña *et al.* (1999) per la progettazione degli aeroplani; Lee e Vachtsevanos (2002) per la progettazione dei riflettori e delle luci nell'industria automobilistica.

La tesi dottorale di Aleksander Øhrn (1999) è un importante punto di riferimento per la sistematizzazione della teoria e delle pratiche della RSA. Quest'opera contiene un'ampia e precisa discussione delle più significative problematiche teoriche e della relativa letteratura, a partire dai saggi di Pawlak (1982; 1991), che si possono assumere come prodromi fondamentali dell'approccio della RSA, e delle applicazioni in diversi campi disciplinari, in particolare in campo medico. A Øhrn (1999; 2001) si deve, anche, lo sviluppo di un progetto interdisciplinare aperto di un programma software, denominato "Rosetta," fondato sullo scambio di idee, sul-

¹ Quanto discusso in questo saggio è parte dello sviluppo del programma di ricerca "Definizione di un modello complessivo per la valutazione strategica delle decisioni della pianificazione urbana fondato sul riconoscimento delle istanze e delle aspettative delle comunità locali" dell'Unità Operativa presso la Sezione di Urbanistica del Dipartimento di Ingegneria del Territorio dell'Università di Cagliari di cui è responsabile scientifico Corrado Zoppi, del Programma di ricerca di rilevante interesse nazionale (PRIN 2005) "Sviluppo sostenibile ed e-governance nella pianificazione urbanistica," finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca per gli anni 2006-2008, coordinato da Alessandro Busca.

Questo saggio trae origine dalla ricerca comune degli autori. Corrado Zoppi ha curato, in particolare, le sezioni 2 e 4; Sabrina Lai le sezioni 3 e 5.

la discussione e sulla cooperazione, tra coloro che si occupano di analisi dei dati basata sulla discernibilità e RSA, sia dal punto di vista teorico, che per ciò che concerne le applicazioni. Questo programma è disponibile su Internet e continuamente aggiornato attraverso il contributo volontario dei partecipanti al progetto.

L'approccio della RSA non è utilizzato spesso nel campo della pianificazione urbana e territoriale, almeno per due motivi. In primo luogo, non sono disponibili programmi software specifici per applicare questa metodologia a problemi di questo settore disciplinare. In secondo luogo, non c'è una letteratura consolidata di casi applicativi basati sulla RSA, come, invece, è presente con riferimento ad altre metodologie, basate sull'econometria, sulla statistica applicata, e su altri approcci di KDD. Inoltre, mentre le applicazioni di RSA costruiscono conoscenza sui fenomeni senza teorie a priori, cioè teorie interpretative senza narrative precostituite, i metodi valutativi tradizionali della pianificazione territoriale ed urbana – ad esempio: Analisi Costi-Benefici ed Analisi Multicriteri – hanno chiavi di interpretazione definite a monte dello sviluppo del processo valutativo.

La RSA consente di riconoscere e spiegare passo per passo il processo inferenziale. Questa è un'importante differenza rispetto ad altre tecniche di KDD utilizzate nella pianificazione, come, ad esempio, le reti neurali, gli automi cellulari, la logica *fuzzy*. Poiché il processo inferenziale è trasparente, è relativamente facile per i tecnici ed i pianificatori, i rappresentanti della pubblica amministrazione, la comunità scientifica, i gruppi, le associazioni, le imprese ed i singoli cittadini, capire le ragioni su cui si fondano le decisioni che derivano da approcci di RSA. Discussioni pubbliche e processi negoziali sono, quindi, fondati su una solida base informativa.

Le applicazioni di RSA alla pianificazione territoriale e urbana implicano l'uso di dati spaziali, inferenze su fenomeni spaziali. Quindi, i risultati dei processi inferenziali sono rappresentabili tramite sistemi informativi geografici. Inoltre, questi risultati sono integrabili in altre metodologie di valutazione, come l'Analisi Multicriteri e la Contingent Valuation.

Il saggio di Bruinsma *et al.* (2002) è tra i primi e più importanti da questo punto di vista. Discute le problematiche della localizzazione di attività industriali in alcune regioni urbane di Belgio, Germania, Francia e Danimarca. Cerreta e Salzano (2004) sviluppano una valutazione di politiche alternative per la conservazione di beni culturali in ambito urbano basata su un approccio cognitivo di RSA. Integrano RSA, *Institutional Analysis* e *Community Impact Evaluation*. Murgante e Sansone (2005) utilizzano la RSA per individuare i confini delle zone urbane e suburbane della Basilicata.

Questo saggio è organizzato come segue. Nella seconda sezione, la metodologia della RSA è presentata, nel contesto del caso di studio che qui si discute. Nella terza sezione, si definiscono il sistema informativo geografico che descrive la configurazione delle aree residenziali di Cagliari e le variabili spaziali su cui si basa. Nella quarta sezione, si presentano i risultati relativi all'assetto spaziale delle aree residenziali di Cagliari ottenuti tramite l'applicazione di RSA. Nella quinta sezione, si verifica la validità delle regole che definiscono l'assetto spaziale delle aree residenziali applicandole all'insieme delle aree residenziali rimanenti, cioè quelle non utilizzate nel processo inferenziale della RSA, e valutandone, così, il potere previsivo. L'ultima sezione riassume i risultati ottenuti e ne discute le implicazioni, con particolare riferimento all'importanza della RSA per l'analisi spaziale riferita a problematiche complesse di pianificazione territoriale e urbana.

2. METODOLOGIA

Attraverso le applicazioni di RSA è possibile sviluppare efficacemente processi di costruzione della conoscenza con riferimento a fenomeni influenzati da molte variabili, specificamente quando non siano presenti ipotesi a priori circa il rapporto tra queste variabili ed i fenomeni

stessi. Qui si delinea la metodologia di RSA utilizzata nel caso di studio discusso in questo saggio.²

La RSA consente di individuare, dato un insieme di oggetti – denominato “OBJ” nel seguito – ed un insieme di attributi di questi oggetti – denominato “A” nel seguito –, i *rough set* (RS) di questi oggetti, come sottoinsiemi di questi oggetti caratterizzati da una situazione di indiscernibilità, cioè da un forte grado di omogeneità interno e di disomogeneità rispetto al resto degli oggetti di OBJ. L’insieme OBJ è definito nel modo seguente: $OBJ = \{O_1, O_2, \dots, O_M\}$.

Un RS è un sottoinsieme di OBJ identificato dalla sua approssimazione superiore (AS) e dalla sua approssimazione inferiore (AI). L’AS è l’unione delle classi di equivalenza di elementi di OBJ, definite rispetto ad una qualunque relazione di equivalenza, tali che l’intersezione di ciascuna di queste classi con RS abbia almeno un elemento. L’AI è l’unione delle classi di equivalenza di elementi di OBJ, definite rispetto ad una qualunque relazione di equivalenza, tali che ciascuna di queste classi è interamente contenuta in RS.

Si definiscono, rispetto al RS, anche: una regione di confine (RC) definita come l’insieme degli elementi di AS che non sono presenti in AI; una regione negativa (RN), come l’insieme costituito dall’unione di tutti gli elementi di OBJ che fanno parte di classi di equivalenza i cui elementi non appartengono ad AS.

Dato l’insieme A di attributi degli elementi di OBJ, con $A = \{A_1, A_2, \dots, A_N\}$, classi di equivalenza di OBJ si ottengono definendo relazioni di equivalenza, $R(A_j)$ (si indica qui con A_j il j-esimo attributo di A), tra gli elementi di OBJ, nel modo seguente.

Dati due elementi qualunque di OBJ, o_1 e o_2 , o_1 è equivalente ad o_2 se o_1 e o_2 presentano lo stesso valore (numerico o di altro tipo) dell’attributo A_j .

La notazione simbolica è la seguente:

$$o_1 R(A_j) o_2. \quad (1)$$

Una classe di equivalenza è costituita da tutti gli elementi di OBJ per i quali vale la (1).

Gli attributi dell’insieme A sono caratteristiche proprie degli oggetti dell’insieme OBJ (attributi “di condizione”), oppure “di decisione,” cioè esprimono una classificazione relativa alla situazione degli oggetti dell’insieme OBJ.

Ad esempio, se si definisce come OBJ l’insieme di tutti i giorni dell’anno 2003 e come A l’insieme {temperatura (°C), pressione (bar), umidità dell’aria (x,xx%), piovosità (almeno 10 mm di pioggia o meno)}, i primi tre attributi di A si possono definire “di condizione” per gli elementi di OBJ, mentre il quarto si può definire “di decisione,” poiché classifica, esprime una differenziazione relativa agli oggetti di OBJ.

L’individuazione dei RS di OBJ può avvenire, in relazione agli attributi dell’insieme A, attraverso la definizione dei “ridotti” degli elementi di OBJ.

Il “ridotto relativo al k-esimo elemento di OBJ,” RED_k , è costituito dalla combinazione minima di alcuni degli attributi di condizione di A che distinguono il k-esimo oggetto dagli altri elementi di OBJ. Un “ridotto relativo al k-esimo elemento di OBJ con riferimento all’attributo di decisione,” $DRED_k$, è costituito dalla combinazione minima di alcuni degli attributi di condizione di A nell’assunzione che i RS di OBJ siano costituiti da tutti gli elementi di OBJ aventi gli stessi valori degli attributi di decisione, cioè che la situazione di (dis)omogeneità sia individuata dall’avere (valori diversi) gli stessi valori degli attributi di decisione.

² La metodologia di RSA qui discussa in termini discorsivi ed informali fa riferimento alla definizione formale di Pawlak e Slowinski (1994), che ben sintetizza alcuni precedenti saggi di Pawlak (1982; 1991), e ad alcune lezioni di un corso di Anita Wasilewska su *Data Mining* presso la Stony Brook State University of New York (Yang *et al.*, 2002).

Una volta individuati i $DRED_K$, si possono inferire le “regole di decisione” concernenti gli attributi ed i loro valori, che esprimono come certe combinazioni di valori degli attributi di condizione corrispondano a determinati valori degli attributi di decisione.

È da porre in evidenza che la forma generale di una regola è la seguente:

$$DRED_K(B) \Rightarrow A_D, \quad (2)$$

oppure

$$DRED_K(B) \Rightarrow A_D \text{ OR } A_Q \text{ OR } A_R \text{ OR } \dots \quad (2')$$

da leggere nel modo seguente:

- lato sinistro: “il ridotto relativo al k -esimo elemento di OBJ con riferimento all’attributo di decisione, per i valori degli attributi dati dal vettore B ,”
- centrale (freccia): “implica;”
- lato destro: “un valore dell’attributo di decisione pari ad A_D ,” oppure “un valore dell’attributo di decisione pari ad A_D , o anche ad A_Q , o anche ad A_R , , o anche a...” dove A_D, A_Q, A_R sono valori dell’attributo di decisione e B è un vettore di valori degli attributi di $DRED_K$; nel caso della (2) la regola è *esatta*, nel caso della (2') è *approssimata*.

Per individuare i $DRED_K$, è necessario definire la “matrice di discernibilità relativa alle decisioni,” MDRD.

Un esempio di definizione di MDRD è il seguente.

Sia $OBJ = \{O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6\}$ e $A = \{A_1, A_2, A_3, A_D\}$, dove gli O_i sono sei concorrenti a due posti di ricercatore universitario di tecnica e pianificazione urbanistica, A_1 è un attributo di condizione relativo agli articoli pubblicati su riviste con referee (valori assunti: “A” se il numero è maggiore di sei, “M” se è compreso tra sei e tre, “B” se è due o meno), A_2 è un attributo di condizione relativo al numero di corsi universitari da 5 crediti o equivalenti in cui il concorrente ha prestato la propria collaborazione in passato (valori assunti: “H” se il numero è maggiore di dieci, “I” se è compreso tra sette e dieci, “J” se è compreso tra tre e sei e “K” se è due o meno), A_3 è un attributo di condizione relativo alla conoscenza dell’Inglese (valori assunti: “S” se è ottima, “G” se è buona, “L” se è mediocre), A_D è l’attributo di decisione relativo al fatto che il concorrente abbia vinto o no il concorso (valori assunti: “V” se ha vinto, “P” se ha perso).

Queste informazioni si possono riassumere come indicato nella Tabella 1, in cui è riportata la matrice oggetti-attributi, denominata anche “matrice dell’informazione.”

	A_1	A_2	A_3	A_D
O_1	A	I	S	V
O_2	A	H	L	P
O_3	B	J	G	P
O_4	M	J	G	P
O_5	B	K	L	P
O_6	M	H	S	V

Tabella 1. Esempio di matrice dell’informazione

Dalla matrice oggetti-attributi si deriva la MDRD, matrice simmetrica dei confronti a coppie tra gli elementi di OBJ, in cui il risultato del confronto degli elementi di una coppia (O_i, O_j) è espresso dall’insieme degli attributi di condizione i cui valori di O_i e O_j sono diversi, posto che l’attributo di decisione abbia per i due elementi della coppia un valore diverso, cioè

dall'insieme degli attributi di condizione per i quali i due elementi della coppia si differenziano, posto che si differenzino in relazione all'attributo di decisione.

Se non si differenziano in relazione all'attributo di decisione, i due elementi sono assunti come indiscernibili, cioè come appartenenti allo stesso RS. La MDRD è riportata nella Tabella 2.

Il $DRED_1$, per $A_D=P$, con notazioni tratte dalla teoria classica degli insiemi, si calcola nel modo seguente:

$$DRED_1 = \{\{A_2\} \cup \{A_3\}\} \cap \{\{A_1\} \cup \{A_2\} \cup \{A_3\}\} \cap \{\{A_1\} \cup \{A_2\} \cup \{A_3\}\} \cap \{\{A_1\} \cup \{A_2\} \cup \{A_3\}\} = \{A_2, A_3\}.$$

Questo risultato ha il significato seguente: "L'elemento O_1 del RS $\{O_1, O_6\}$ ha un *ridotto relativo all'attributo di decisione A_D* dato dall'insieme $\{I, S\}$, cioè si distingue dagli altri oggetti di OBJ, in relazione all'attributo di decisione A_D , per i valori degli attributi di condizione A_2 e A_3 ."

Da qui si rileva la seguente regola di decisione, per il cui significato si veda la (2):

$$DRED_1(A_2=I, A_3=S) \Rightarrow A_D=V.$$

Con procedimento analogo, si rileva la seguente regola di decisione:

$$DRED_6(A_3=S) \Rightarrow A_D=V.$$

	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6
O_1	-	A_2, A_3	A_1, A_2, A_3	A_1, A_2, A_3	A_1, A_2, A_3	-
O_2	A_2, A_3	-	-	-	-	A_1, A_3
O_3	A_1, A_2, A_3	-	-	-	-	A_1, A_2, A_3
O_4	A_1, A_2, A_3	-	-	-	-	A_2, A_3
O_5	A_1, A_2, A_3	-	-	-	-	A_1, A_2, A_3
O_6	-	A_1, A_3	A_1, A_2, A_3	A_2, A_3	A_1, A_2, A_3	-

Tabella 2. Esempio di matrice di discernibilità relativa alle decisioni

Le statistiche descrittive delle regole di decisione sono le seguenti³:

- il *sostegno* del lato sinistro di una regola (LHSS) è il numero di elementi di OBJ per i quali è verificata la condizione $DRED_k(B)$;
- il *sostegno* del lato destro di una regola (RHSS) è il numero di elementi di OBJ per i quali è verificata la regola; nel caso la regola sia espressa nella forma (2'), il sostegno del lato destro è una ennupla di valori;
- l'*accuratezza* del lato destro di una regola (RHSA) è il rapporto tra il sostegno del lato destro ed il sostegno del lato sinistro della regola;
- la *copertura* del lato sinistro di una regola (LHSC) è il rapporto tra il numero di elementi di OBJ per cui vale la regola e il numero di elementi di OBJ;
- la *copertura* del lato destro di una regola (RHSC) è il rapporto tra il numero di elementi di OBJ per cui vale la regola e il numero di elementi di OBJ per cui vale la condizione A_D ; nel caso la regola sia espressa nella forma (2'), la copertura del lato destro è una ennupla di valori.

La RHSA si basa sui LHSS e RHSS. Questa statistica informa sul grado di affidabilità di una regola. Indica, cioè, se e quanto si può fare affidamento su questa regola, una volta che si verifichi la condizione $DRED_k(B)$.

³ Per una discussione complessiva di queste statistiche e per il loro uso nel *filtering* delle regole di decisione si veda Øhrn (1999), Sezioni 6.2 e 6.3.

La LHSC si basa sul RHSS. Pone in evidenza e consente di comparare le diverse parti del fenomeno, rappresentato dall'attributo di decisione, che ciascuna regola contribuisce a spiegare. La RHSC si basa sul RHSS. Dà informazione su quanto un particolare stato del fenomeno, rappresentato da un valore dell'attributo di decisione, è spiegato da una regola di decisione. Nella metodologia della RSA, gli attributi definiscono le caratteristiche di un insieme di oggetti. Queste caratteristiche si riferiscono a stati, comportamenti, preferenze, aspettative, bisogni. L'individuazione delle relazioni tra gli attributi fa sì che si possa riconoscere ciò che differenzia gli oggetti l'uno dall'altro in relazione all'attributo di decisione. In altre parole, consente di identificare quali caratteristiche dell'insieme degli oggetti sono decisive nei processi interpretativi e decisionali.

3. SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO

I sistemi informativi geografici rappresentano lo strumento più potente, ed allo stesso tempo di facile utilizzo e comprensione anche per un utente non esperto, in grado di raggiungere gli obiettivi che questo saggio intende perseguire, in quanto consentono non solo di esaminare le caratteristiche attuali di una data area, ma, soprattutto, di analizzare e integrare le conoscenze pregresse e di costruire nuove informazioni.

Questo paragrafo si compone di due parti. Nella prima viene descritto il processo di costruzione delle informazioni che costituiscono il sistema informativo geografico utilizzato. La seconda parte presenta, invece, i risultati, per mezzo di una tabella riassuntiva che contiene gli attributi delle zone residenziali esaminate, e di alcune immagini nelle quali tali zone sono classificate sulla base dei valori assunti dagli attributi descrittivi, e che consentono, dunque, di percepire visivamente alcune relazioni tra la distribuzione spaziale delle aree destinate ad accogliere le funzioni residenziali e le informazioni ad esse associate.

3.1. *Approccio metodologico*

3.1.1. I dati

L'analisi qui condotta si propone di verificare se la zonizzazione contenuta nel PUC di Cagliari possa essere, in qualche modo, posta in relazione con un sistema di variabili legate alle caratteristiche ambientali, alla distribuzione demografica ed alle prescrizioni urbanistiche e normative vigenti sulle singole aree residenziali.

Il processo di selezione delle informazioni da introdurre all'interno del sistema informativo da sviluppare rappresenta in sé un nodo cruciale del processo, dal momento che il risultato, in genere, è influenzato dalla presenza/assenza di alcune informazioni. D'altro lato, occorre osservare che la semplice introduzione di tutti i dati disponibili, senza il filtro di una conoscenza a priori che sia in grado di incorporare "relazioni probabili [...] e [...] strutture già note" (Fayyad *et al.*, 1996), comporta una notevole difficoltà nell'individuazione di patterns che abbiano un qualche significato, a causa dell'elevato numero di regole che vengono generate (Curry, 2003).

Sulla base di queste premesse, tra le informazioni disponibili sono state selezionate le seguenti:

- popolazione residente al 2001 (ISTAT, 2001);
- uso dei suoli, al quarto livello di dettaglio secondo la classificazione del progetto "Corine Land Cover" (Regione Autonoma della Sardegna, 2003; Cilloccu e Cumer, 2002);
- aree soggette a vincolo di inedificabilità, per motivi ambientali o urbanistici (Comune di Cagliari, 2004a; Comune di Cagliari, 2004b; Regione Autonoma della Sardegna, 2003); in dettaglio, i vincoli si articolano in:
 - parchi ed aree protette (secondo la legge regionale n. 31/1989);

- Siti di Interesse Comunitario (proposti in base alla Direttiva n. 92/43/CEE, relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, e della flora e della fauna selvatiche);
- zone di protezione speciale (in base alla Direttiva n. 79/409/CEE, concernente la conservazione degli uccelli selvatici);
- fasce di rispetto di profondità pari a 300 metri dalla linea di costa marina e dalla linea di battigia dei laghi, e di 150 metri da sponde o piedi di argini di fiumi, torrenti e corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici (in base al D.Lgs. n. 42/2004, art. 142);
- immobili ed aree di notevole interesse pubblico (in base al D.Lgs. n. 42/2004, artt. 136 e 157);
- edifici ed aree tutelate per il loro valore storico o culturale (in base al D.Lgs. n. 42/2004, artt. 10 e 128);
- area soggetta al Piano Paesistico di San Michele (Comune di Cagliari, 2004a);
- zone di inedificabilità cimiteriale (Comune di Cagliari, 2004a).

3.1.2. Zone residenziali

In questo sottoparagrafo si definiscono i limiti delle zone residenziali in esame, all'interno di un'area di studio che comprende la porzione più centrale del territorio del comune di Cagliari. Secondo le norme di attuazione del PUC di Cagliari, tali zone sono articolate in quattro categorie:

- Centro Storico (Zona "A");
- zone di completamento residenziale (Zona "B");
- zone di espansione residenziale (Zona "C");
- ambiti di intervento coordinato (Zona "IC").

Nel seguito, l'analisi è limitata alle sole Zone B, C ed IC. Il Centro Storico è, infatti, per la sua compattezza, densità edilizia e centralità, un'area particolare nel tessuto urbano, che risale al Medioevo e nella quale si trovano diversi edifici tutelati per la loro rilevanza storico-artistico-culturale. Per tale motivo, al fine di evitare un incremento del volume edificato, preservare le facciate e controllare le destinazioni d'uso, in tale area sono in vigore regole specifiche, contenute all'interno del "Piano-quadro per il recupero del Centro Storico". Il Centro Storico non è, in realtà, una semplice zona residenziale; si tratta, piuttosto, di una zona nella quale i servizi pubblici sono combinati con gli usi commerciali e residenziali, e, per questo motivo, si è scelto di non considerare tali zone come parte della configurazione spaziale delle aree residenziali, anche se, al fine di spiegare tale configurazione, la loro presenza viene tenuta in considerazione come importante punto di riferimento spaziale.

Le Zone B sono aree edificate costituite, principalmente, da isolati residenziali con elevata densità edilizia. Una zona parzialmente edificata è generalmente considerata Zona B quando ha una superficie inferiore ai 5000 metri quadrati ed il volume edificato non raggiunge il 30% del totale consentito. In genere, l'indice di fabbricabilità fondiario, nelle Zone B, è inferiore a tre metri cubi per metro quadro; occorre, però, osservare che il PUC di Cagliari prevede diversi tipi di Zone B, raggruppabili in tre categorie. Tra queste, la più importante si dettaglia in nove sottotipi, per ciascuno dei quali la Tabella 3 riepiloga i limiti globali relativi a: indice di fabbricabilità fondiario massimo (Iff); distanza minima tra edificio e bordo stradale (Des); distanza minima tra edificio e altri lati del lotto, non coincidenti con strade (Del); distanza minima tra due edifici (Dee); altezza massima (H); superficie coperta massima (Sc); superficie fondiaria minima (Sf).

Tipo	Iff (m ² /m ²)	Des (m)	Del (m)	Dee (m)	H (m)	Sc (m ²)	Sf (m ²)
B1	5	0	5	10	22		
B2	5	0	5	10	16		
B3	5	0	5	10	13		
B4	3	0	5	10	22		
B5	5	5	6,5	10	17	360	600
B6	3	4	6	10	10,5	360	400
B7	1	5	5	10	7,5	360	600
B8	3	0	5		10,5		
B9	0,375		8		7,5		

Tabella 3. Limiti relativi all'edificazione per alcuni sottotipi di Zona B

Gli altri due tipi di zone di completamento comprendono: (i) aree nelle quali vigono regole specifiche, volte, ad esempio, alla preservazione di peculiarità architettoniche o del paesaggio urbano, o per consentire un riallineamento delle facciate, o in contesti degradati, e (ii) aree con utilizzo misto pubblico - privato, nelle quali una quota del 60% è destinata alla funzione residenziale, mentre un 40% è reso disponibile per servizi pubblici.

Le Zone C sono aree ancora inedificate, o solo in piccola parte edificate (in genere, meno del 30% del volume edificabile è già realizzato), destinate ad accogliere nuove residenze. I limiti sulla potenzialità edificatoria sono più severi di quelli che si applicano alle Zone B, essendo in genere l'indice di fabbricabilità fondiario pari a 1,5 metri cubi per metro quadro. Inoltre, l'edificazione è subordinata all'approvazione di un piano attuativo, che non solo indichi la distribuzione spaziale dei lotti edificabili, ma, anche, preveda la cessione alla municipalità di una porzione dell'area, da destinare alla realizzazione di servizi ed infrastrutture.

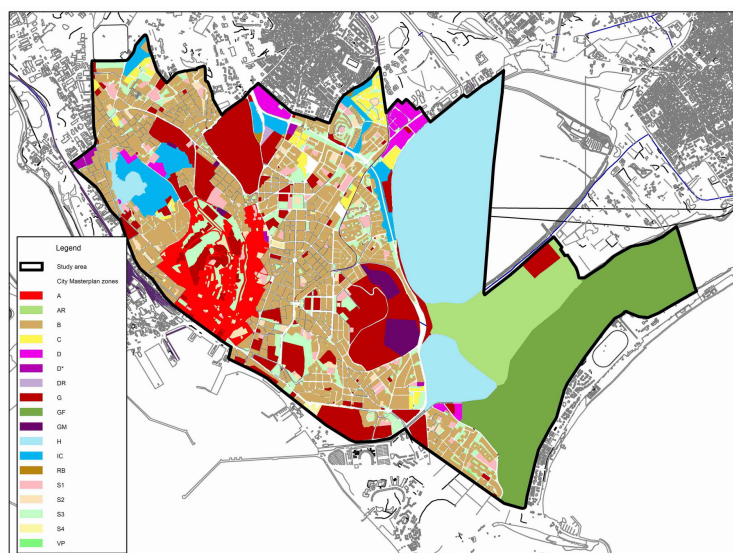


Figura 1. Zonizzazione del Piano urbanistico comunale di Cagliari all'interno dell'area di interesse

L'entità della superficie da cedere viene determinata in base alla stima del numero di futuri residenti, a sua volta dipendente dal volume edificabile, e quindi, in ultima analisi, dall'indice di fabbricabilità.

Le Zone IC sono aree ancora inedificate, o in parte edificate, per le quali si rende necessaria una integrazione di tre diverse funzioni (aree residenziali, servizi pubblici di interesse generale,

ed aree per parco urbano o connettivo verde tra parti della città). Per ogni zona di tipo IC, il Piano assegna specifiche combinazioni delle tre funzioni. Ad esempio, negli “ambiti di prevalente valenza ambientale” la quota di superficie per l’uso residenziale è limitata al 35%; 0% è per i servizi generali, e il rimanente 65% è riservato a parco urbano. Una Zona IC “di espansione residenziale con valenza ambientale” è caratterizzata dalla combinazione 93-7-0%, ed infine una Zona IC “di riassetto residenziale di aree periferiche compromesse” è caratterizzata dalla combinazione 70-30-0%.

Per la successiva fase di analisi delle relazioni tra i diversi tipi di aree destinate alla residenza, si rende necessaria una aggregazione tra isolati residenziali. Tale aggregazione ha avuto per oggetto zone residenziali omogenee e contigue, a condizione che esse fossero separate solo tramite elementi di viabilità secondaria o aree destinate ad accogliere attività ricreative, culturali, sociali o sportive di rilevanza locale.

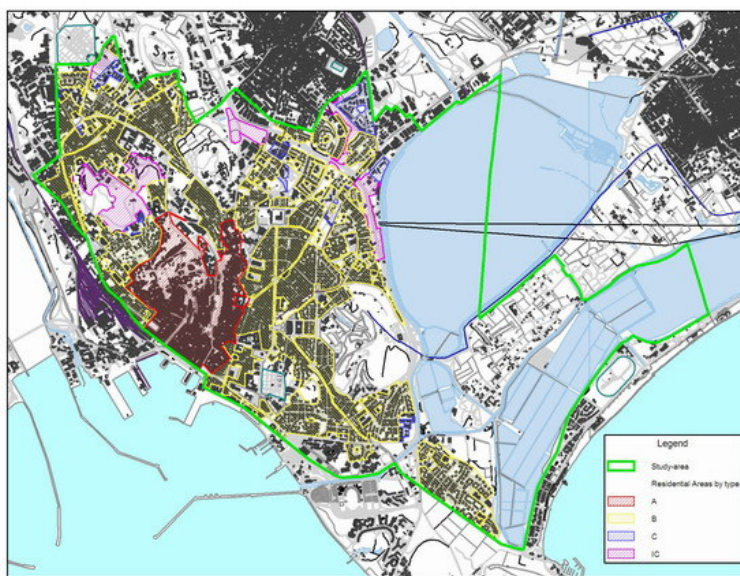


Figura 2. Aree residenziali, aggregate e classificate per tipo

3.1.3. Analisi spaziale

Ricostruita la configurazione spaziale delle aree residenziali, allo scopo di correlare la destinazione urbanistica con le informazioni in precedenza selezionate, sono state eseguite le procedure di seguito descritte.

Come metodo generale, si è scelto di analizzare, per ogni singola area residenziale, una fascia di rispetto di ampiezza pari a 150 metri intorno all’area stessa. Questo perché si è ipotizzato che una singola zona sia influenzata dalle qualità morfologiche, ambientali, demografiche e dalle prescrizioni normative ed urbanistiche relative riconducibili al contesto, e non semplicemente all’area in esame.

Il metodo di analisi spaziale più appropriato ad affrontare il problema qui discusso è uno dei più semplici ed antichi, e cioè la tecnica delle sovrapposizioni tematiche (*overlay mapping*) di dati geografici vettoriali. Dati due tematismi, questa tecnica rende, infatti, possibile la costruzione di un terzo, che contenga tutte le informazioni disponibili per i dati di ingresso. In altre parole, il nuovo tematismo che si crea, relazionando tra loro le informazioni date tramite operazione di intersezione logica, dà origine a nuove informazioni descrittive del territorio.⁴

⁴ Questo saggio non si prefigge di spiegare il funzionamento del metodo di overlay mapping, né quali problemi possono derivare dalla sua applicazione; per una discussione che si occupi sia dei problemi geometrici, sia di quelli topologici, si rimanda a Chrisman, 2002.

L'intersezione tra il buffer delle aree residenziali e le zone soggette a vincolo rende immediatamente possibile individuare quali porzioni di aree residenziali siano soggette ad inedificabilità, e quale sia l'estensione di tali porzioni (con l'eccezione, che verrà illustrata nel seguito, delle zone vincolate per il loro valore storico o culturale).

La stessa procedura, e dunque una combinazione di creazione di una fascia di rispetto e di intersezione per sovrapposizione di tematismi, è stata utilizzata anche per popolare i campi relativi ad uso del suolo (codice e superficie), popolazione residente, zone ed edifici soggetti a vincolo per il loro valore storico o culturale. Occorre, però, considerare che in questi casi si sono rese necessarie alcune ipotesi e procedure aggiuntive, a causa della geometria dei dati o dei risultati dell'intersezione spaziale.

Relativamente all'uso del suolo, l'area esaminata è caratterizzata dalla presenza di ben 33 diversi tipi di usi del suolo. Una classificazione a livello di dettaglio così spinto è stata giudicata utile solo per gli usi del suolo che dettagliano il tipo 1.1, "tessuto urbano," che è l'uso più comune all'interno dell'ambiente urbano, e di conseguenza il tematismo dell'uso del suolo è stato riclassificato, con l'introduzione di una combinazione di livelli mista (terzo e quarto livello di dettaglio). In seguito a questa semplificazione, il numero di tipi di uso del suolo che interessano le aree residenziali esaminate diminuisce da 33 a 24. Occorre, inoltre, tenere in considerazione il fatto che ogni area residenziale è caratterizzata da una combinazione degli usi del suolo particolare (in numero variabile da un minimo di due ad un massimo di undici tipi diversi), tale che, con la semplice riclassificazione degli usi al quarto livello in usi misti al terzo e quarto livello di dettaglio, l'associazione area residenziale - combinazione di usi del suolo sarebbe stata ancora pressoché unica, e, di conseguenza, la ricerca di regole basate sull'uso del suolo sarebbe stata impossibile. Per questo motivo, si è introdotta una ulteriore semplificazione, sostituendo l'effettiva combinazione di usi del suolo relativa all'area residenziale ed al suo immediato intorno con una combinazione nella quale sia rappresentato almeno il 60% dell'insieme area più fascia di rispetto. Tale semplificazione ha condotto, come risultato, ad una seconda riclassificazione dell'uso del suolo, con la identificazione di cinque sole combinazioni diverse.

Un problema diverso è quello che si presenta quanto si determina, per ogni area residenziale e relativo intorno, la popolazione residente, e che ha origine nel fatto che i limiti delle sezioni censuarie non coincidono esattamente con quelli delle zone residenziali, sebbene rappresentino lo stesso oggetto reale (in genere, si tratta di bordi stradali). Tale situazione si presenta piuttosto comunemente, quando si utilizzano dati provenienti da fonti diverse, prodotti con diversi livelli di accuratezza o in diversi periodi temporali, e si riflette nei risultati dell'intersezione spaziale, dal momento che comporta la creazione di un certo numero di piccoli poligoni.⁵ A causa della presenza degli *slivers*, ed allo scopo di evitare una sovrastima della popolazione residente, si ipotizza che essa sia uniformemente distribuita all'interno di ogni sezione censuaria. Infine, un'ultima ipotesi semplificativa introdotta è quella che riguarda i vincoli su edifici ed aree di interesse storico o artistico. Nella base di dati disponibile, tali edifici ed aree sono rappresentati con due differenti primitive geometriche: punti (24 su 42) e poligoni (18); la presenza dei punti rende impossibile determinare quale sia l'estensione superficiale dell'area soggetta a vincolo di inedificabilità. Si è, pertanto, associata ad ogni zona/edificio vincolato di area incognita una superficie convenzionalmente assunta uguale a quella della più piccola area vincolata di estensione nota, assumendo, così, che la superficie sia una misura della importanza del vincolo.

3.2. Risultati dell'analisi spaziale

Questo paragrafo illustra i risultati della procedura di analisi spaziale utilizzata.

La tabella degli attributi descrittivi contiene i seguenti campi (vedi Tabella 4):

⁵ I cosiddetti *slivers*; vedi, ad esempio, Longley *et al.*, 2001.

- “Tipo_zona,” campo enumerato con tre valori ammissibili (B, C, IC);
- “Area,” campo contenente la superficie della zona residenziale;
- “Area_A” (o “Area_B,” o “Area_C,” o “Area_IC”), campo contenente la superficie di zona A (o B, o C, o IC) contenuta nel buffer intorno alla zona residenziale;

Tipo_zona	Area (m ²)	Area_A (m ²)	Area_B (m ²)	Area_C (m ²)	Area_IC (m ²)	Pop	Cod_UDS	Area_UDS (m ²)	Nobuild (m ²)
B	8335	0	0	6969	68474	416	1112	95728	62886
B	3621	0	42252	0	327	917	1111-1112	71809	0
B	500416	0	217307	0	0	11223	1111-1112	1140922	368277
B	323029	0	149847	22815	77396	6247	1111-1112	691978	242041
B	42665	0	57228	4560	28842	1778	1112	210392	0
B	437279	0	199216	25579	0	12343	1111-1112	897643	125383
B	94822	0	36893	50062	55147	1298	1112-121	323598	0
B	43030	11253	2270	0	64840	1486	1111	173140	18891
B	329394	0	314867	3791	0	12724	1111	778955	1529
B	114846	0	132787	0	0	4407	1111	354449	28306
B	141418	0	132544	20227	0	6414	1111-1112	363691	196
B	5263	0	42211	0	10	748	1111-1112	95280	0
B	135148	0	212029	0	0	9011	1111	378611	196
B	150587	58828	126518	0	0	8759	1111	462255	99692
B	173056	70283	145212	0	0	8072	1111	540456	79247
B	194992	0	179038	746	99071	10176	1111-1112	517814	0
B	90866	0	184100	7264	0	7512	1111-1112	388518	196
B	20764	0	14105	0	116487	1676	121	119702	0
B	84640	0	75437	27082	0	4629	1112	275598	109930
B	135231	0	117145	58361	13160	7740	1112	447403	33591
B	79250	0	90838	15096	0	4570	1112-121	313198	196
B	17774	0	65182	4842	61102	1065	1112	150178	0
B	264844	105253	63718	11131	71239	3752	1111	521259	161360
B	116678	103875	68029	0	0	3765	1111	341613	145337
B	53874	0	39669	19762	18705	2487	1112	228265	57600
B	92625	0	64884	0	39985	3462	1112-121	300594	2473
B	310353	0	102195	0	2551	10212	1112-121	600360	167458
B	286462	85996	40762	0	0	8651	1111-1112	780699	290070
B	49697	0	106633	25542	5744	2567	1112	267460	0
B	422135	0	0	534	0	5778	1112	652233	191100
B	149764	77650	38048	0	0	3640	1111-1112	511887	532302
B	110194	0	104158	30415	60633	4301	1112	386309	0
B	77776	0	38412	43142	21877	2581	1111-1112	244837	3329
B	5088	0	44267	20944	0	812	1112	85782	0
B	102496	0	96174	40003	5838	4219	1112	398655	0
B	1037	0	36609	1416	0	1174	1111	62854	0
C	30404	0	17086	0	30582	170	121	51501	68202
C	130690	0	90688	2422	78244	2007	1111-1112	383821	196
C	25579	0	67775	0	0	1730	1112	143891	32564
C	41569	0	81494	11454	47899	2653	1112	275583	44464
C	6210	2836	39866	3427	43389	433	1111	114959	2921
C	3971	0	74479	4724	13317	492	1111	110148	0
C	950	0	24617	3928	39171	192	1111	56942	0
C	7832	0	43383	0	0	1370	1112-121	142460	449
C	7264	0	80635	0	0	2121	1111-1112	133826	196
C	28123	0	70175	7993	7467	1115	1111-1112	182316	0
C	20944	0	111828	1045	0	1547	1112	152760	0
C	21706	0	73758	9159	0	1501	1111-1112	179780	0
C	1870	0	53530	1225	10851	631	1112	99820	0
IC	121149	0	143275	22916	0	1926	1112	264728	146174
IC	4060	0	58251	0	9806	1014	1112	112776	0
IC	75452	0	224127	111684	4060	4122	1111-1112	533163	196
IC	348331	4766	230140	10970	2166	5904	1111	657172	5063
IC	82385	0	16364	12110	0	263	1112-121	190585	155856
IC	2166	0	55901	0	12016	1172	1111-1112	64032	0
IC	56152	0	43822	37590	49947	1611	1112	230114	123878

Tabella 4. Attributi descrittivi del database

- “Pop,” campo contenente il numero dei residenti nel buffer intorno alla zona residenziale;
- “Cod_UDS,” campo contenente la combinazione degli usi dei suoli prevalenti nel buffer intorno alla zona residenziale;

- “Area_UDS,” campo contenente la superficie della combinazione degli usi dei suoli di cui al campo precedente;
- “Nobuild,” campo contenente la superficie totale soggetta a vincolo nel buffer intorno alla zona residenziale.

I paragrafi successivi descrivono il database, e cercano di porre in relazione i valori degli attributi che descrivono le aree residenziali con la posizione geografica di queste ultime.

3.2.1. Area della Zona A contenuta in un intorno dell’area residenziale (profondità 150 m)

Solo in 9 casi, sui 56 analizzati, l’attributo Area_A assume un valore non nullo, il che significa che solo nove aree residenziali distano meno di 150 metri dal Centro Storico. Di queste 9 aree, sette sono Zone B, di completamento residenziale, una è Zona C, di espansione residenziale, ed una è di tipo IC, ambito di intervento coordinato; le ultime due sono, inoltre, le zone caratterizzate dal valore più basso dell’attributo, la Zona C a causa della sua modesta superficie, e la Zona IC a causa della sua distanza dalla Zona A.

Dal momento che la Zona A si trova in posizione baricentrica, questo implica che la maggioranza delle aree centrali nel tessuto urbano di Cagliari è classificata come area B. Di conseguenza, la parte più centrale della città è quasi completamente edificata, e solo poche aree sono disponibili per nuove edificazioni di tipo residenziale.

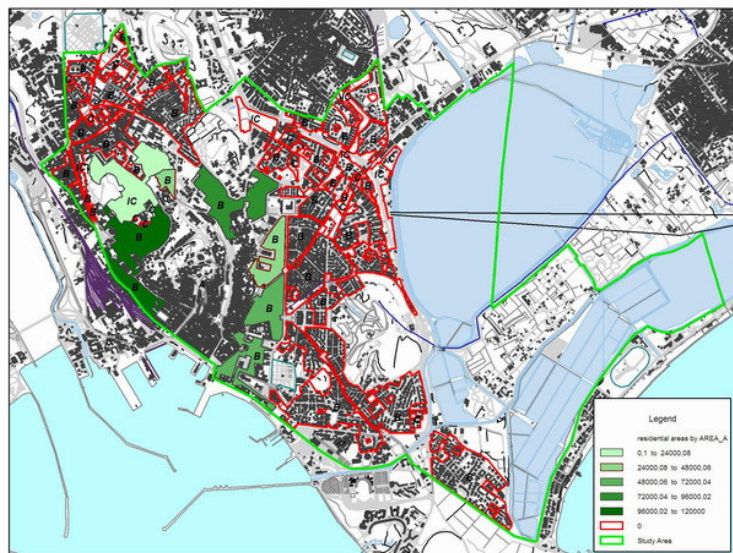


Figura 3. Zone residenziali classificate in base al valore dell’attributo “Area_A”

3.2.2. Area della Zona B contenuta in un intorno dell’area residenziale (profondità 150 m)

In 54 casi su 56 l’attributo Area_B assume un valore non nullo. Questo indica che nell’area esaminata quasi tutte le zone residenziali, a prescindere dal tipo, sono prossime ad almeno una zona classificata come area di completamento residenziale. Solo due aree, entrambe di tipo B, hanno valore nullo per l’attributo “Area_B,” e distano, quindi, più di 150 metri da tutte le altre Zone B. La prima area è completamente separata da altre zone residenziali, essendo compresa interamente tra un’area militare, una zona umida (classificata nel piano come area di salvaguardia) ed un parco naturale; la seconda area è, invece, racchiusa tra un ambito di intervento coordinato ed un’area destinata a usi sportivi e ricreativi. I valori più elevati di questo attributo appartengono sempre a zone di tipo B e IC.

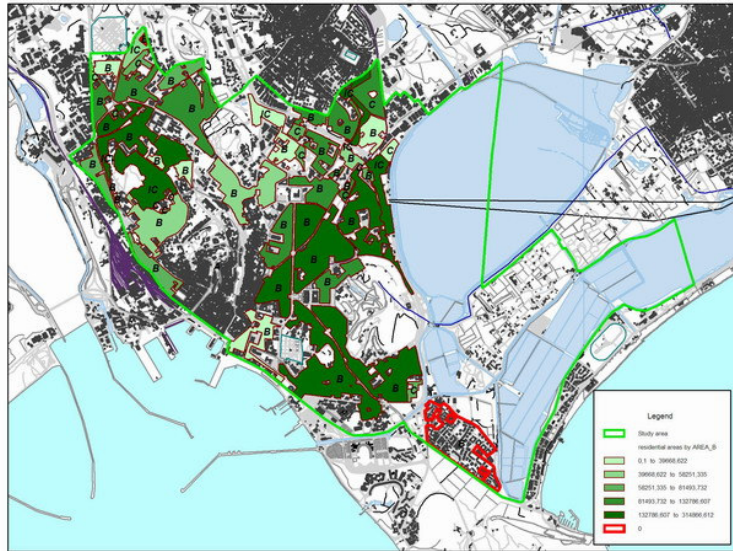


Figura 4. Zone residenziali classificate in base al valore dell'attributo "Area_B"

3.2.3. Area della Zona C contenuta in un intorno dell'area residenziale (profondità 150 m)

In 36 casi su 56 l'attributo Area_C assume valori non nulli. Di queste 36, 22 sono zone di tipo B, 9 sono Zone C e 5 IC. Dato che le Zone C si trovano generalmente nella parte più periferica della città, le aree con i valori più elevati di questo attributo (che sono di tipo B e IC) disegnano una sorta di area di separazione tra i quartieri centrali da un lato e la municipalità di Pirri o le aree extraurbane dall'altra.

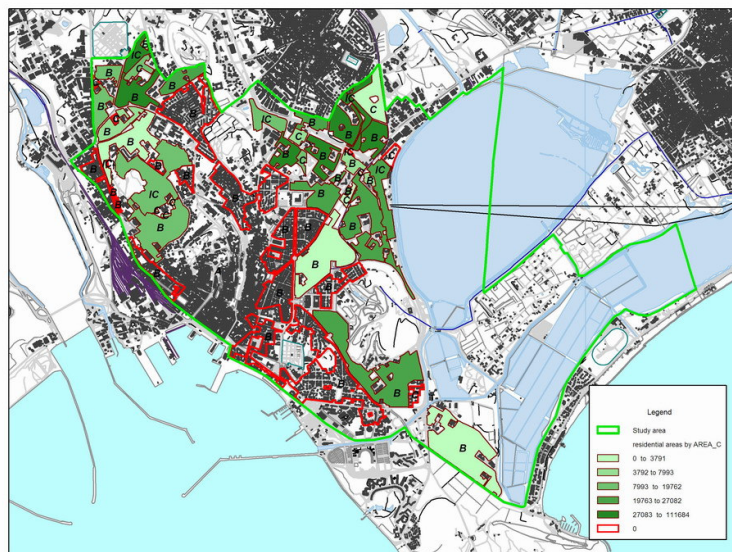


Figura 5. Zone residenziali classificate in base al valore dell'attributo "Area_C"

3.2.4. Area della Zona IC contenuta in un intorno dell'area residenziale (profondità 150 m)

In 32 casi su 56 l'attributo Area_IC assume valori non nulli. Di queste 32, 19 sono zone di completamento residenziale, 9 sono zone di espansione residenziale, e le rimanenti 5 sono ambiti di intervento coordinato. Dal punto di vista della distribuzione spaziale, queste aree formano due grandi blocchi nella zona periferica settentrionale dell'area esaminata, a causa sia del ridotto numero di Zone IC nell'area di interesse di questo saggio, sia della loro reciproca vicinanza.

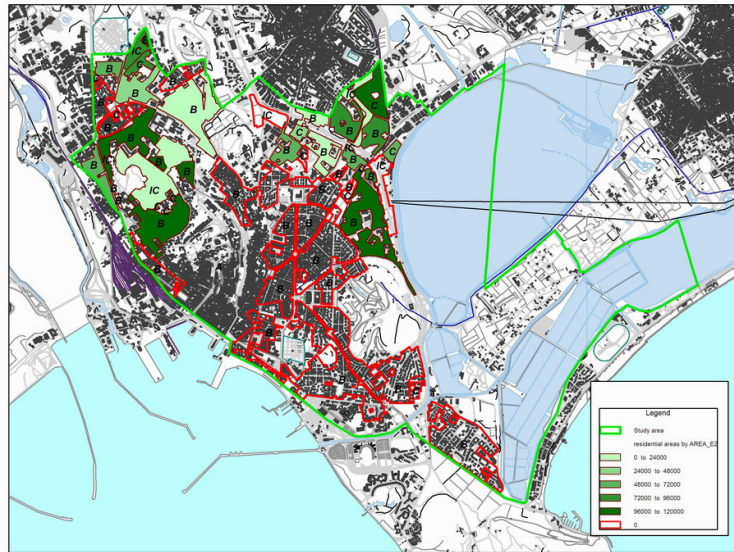


Figura 6. Zone residenziali classificate in base al valore dell'attributo "Area_IC"

3.2.5. Uso del suolo

Sul totale di 56 zone residenziali studiate, relativamente alla combinazione di usi dei suoli prevalenti, 13 sono classificate come "1111" (zone urbanizzate densamente edificate), 18 come "1112" (zone urbanizzate con edificazione rada), 17 come "1111-1112" (combinazione di zone urbanizzate con edificazione densa e rada), 6 come "1112-121" (combinazione di zone urbanizzate con edificazione densa e rada e di zone industriali, commerciali e per servizi) e 2 come "121" (zone industriali, commerciali e per servizi).

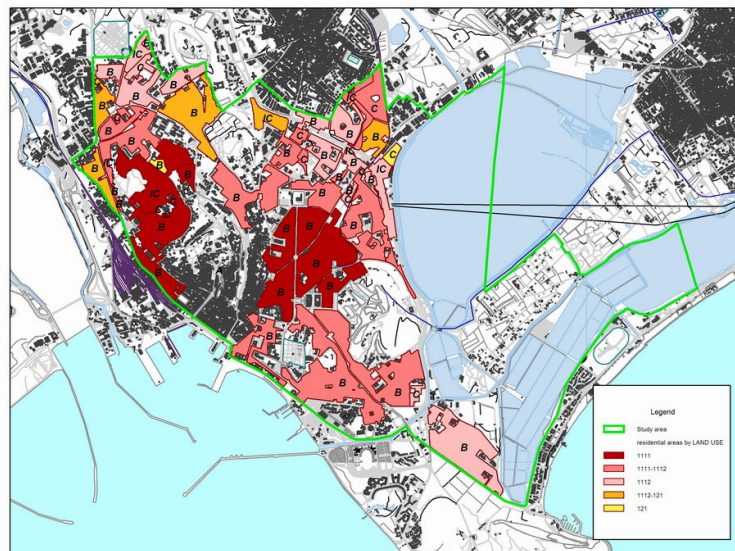


Figura 7. Zone residenziali classificate in base al valore dell'attributo "Codice Uso del Suolo"

La Figura 7 mostra un graduale passaggio, per quanto riguarda gli usi dei suoli prevalenti, al passaggio dal centro alle porzioni più esterne della città, da 1111 a 1111-1112, e successivamente 1112-121. La mancanza di aree per commercio e servizi nella parte più centrale della città, che potrebbe apparire sorprendente, è dovuta al fatto che le aree destinate ad accogliere attività di carattere ricreativo, culturale, sociale e sportivo di rilevanza locale sono state incluse, con la procedura utilizzata nella costruzione delle aree residenziali, all'interno di queste ul-

time, mentre le aree per servizio e commercio di importanza almeno urbana sono state escluse, in quanto non residenziali.

3.2.6. Popolazione

Come mostrato in Figura 8, le aree con i valori di popolazione più elevati, tutte Zone B, formano un continuum che circonda il Centro Storico. Le aree più periferiche sono caratterizzate, invece, da valori più bassi, così come alcune delle aree più interne. Questa distribuzione spaziale trova ragione in tre motivi principali.

In primo luogo, influisce la dimensione di ogni zona residenziale (e, di conseguenza, la dimensione della fascia di profondità pari a 150 metri, all'interno della quale è stata calcolata la popolazione residente). In secondo luogo, è importante considerare il fatto che a zone diverse, anche omogenee, corrispondono valori diversi dell'indice di fabbricabilità fondiario. Infine, connesso al punto precedente, è influente anche la tipologia edilizia, ed in particolare il numero di piani.

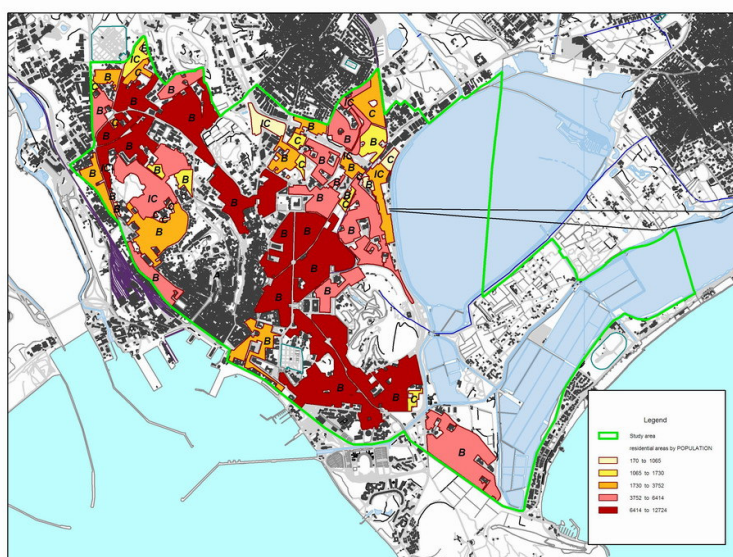


Figura 8. Zone residenziali classificate in base al valore dell'attributo "Popolazione residente"

3.2.7. Superficie vincolata

La distribuzione spaziale delle aree soggette a vincolo è influenzata da diversi fattori.

Da un lato, le aree più centrali, tutte classificate come Zone B, sono influenzate soprattutto dalla loro vicinanza al Centro Storico, e dalla presenza di monumenti ed aree o edifici di rilievo storico-artistico. Dall'altro lato, le zone orientali ed occidentali risentono della prossimità di aree di rilevante interesse ambientale, quali parchi e zone umide. Sulle zone più settentrionali influisce, invece, la presenza del cimitero e di una zona soggetta a Piano Paesistico. Di conseguenza, diversi fattori, diversamente sparsi all'interno dell'area esaminata, concorrono a definire la geografia delle aree soggette a vincolo di inedificabilità.

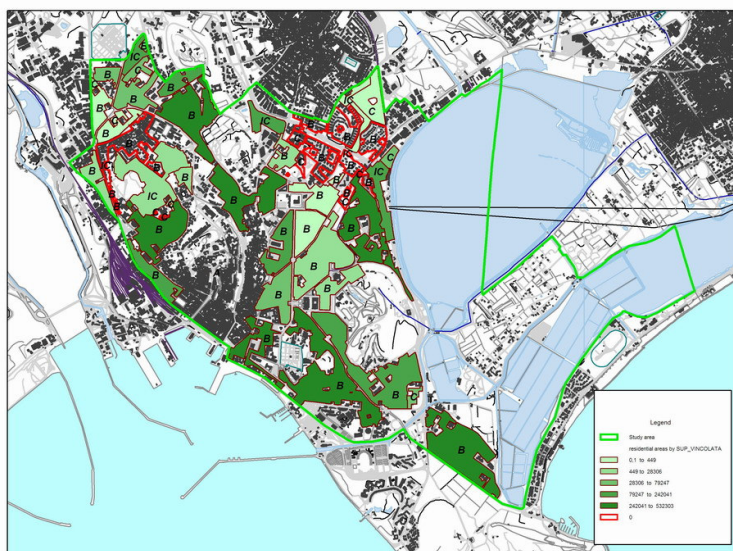


Figura 9. Zone residenziali classificate in base al valore dell'attributo "Area vincolata"

4. ANALISI DELLA CONFIGURAZIONE SPAZIALE DELLE AREE RESIDENZIALI DI CAGLIARI

L'analisi della configurazione spaziale delle aree residenziali di Cagliari viene presentata in due parti. La prima parte contiene la definizione degli insiemi degli oggetti, OBJ, e degli attributi, A (queste notazioni sono definite nella Sezione 2), ed una descrizione dello sviluppo del procedimento di RSA secondo la metodologia discussa nella Sezione 2. Nella seconda parte, si delineano i risultati ottenuti tramite questo procedimento.

4.1. Oggetti, attributi e regole di decisione

Gli elementi di OBJ sono cinquantasei aree residenziali del comune di Cagliari (si veda la Sezione 3). Ogni area è identificata come "residenziale" nelle norme di attuazione del PUC di Cagliari. Ogni area contiene almeno un isolato, ed è, quindi, circondata da strade.

Gli attributi sono i seguenti (tutti gli attributi si riferiscono dall'area individuata da un buffer di 150 metri intorno a ciascuna delle cinquantasei aree, ad eccezione dell'ultimo, che è l'attributo di decisione):

- area del Centro Storico (nome dell'attributo: AREA_A) – questo attributo può avere due valori: "YES" se una porzione della zona omogenea "Centro Storico" appartiene al buffer; "NO" altrimenti;
- area di zona di completamento residenziale (nome dell'attributo: AREA_B) – questo attributo può avere due valori: "HIGH" se la porzione della zona omogenea "Completamento residenziale" è maggiore del cinquantesimo percentile (circa sette ettari); "LOW" altrimenti;
- area di zona di espansione residenziale (nome dell'attributo: AREA_C) – questo attributo può avere due valori: "HIGH" se la porzione della zona omogenea "Espansione residenziale" è maggiore del cinquantesimo percentile (circa 1,1 ettari); "LOW" altrimenti;
- area di zona per l'intervento coordinato (nome dell'attributo: AREA_IC) – questo attributo può avere due valori: "HIGH" se la porzione della zona omogenea "Intervento coordinato" è maggiore del cinquantesimo percentile (circa tre ettari); "LOW" altrimenti;
- uso del suolo prevalente (nome dell'attributo: L_USE) – questo attributo può avere quattro valori: "DRS" se l'uso del suolo prevalente è il tessuto residenziale denso; "SRS" se prevale il tessuto residenziale rado; "DRS-SRS" se si verifica una situazione ibrida tra le

due precedenti; “ICS,” quando prevalgono gli usi del suolo industriali, commerciali o per servizi urbani;

- popolazione residente (nome dell’attributo: POP) – questo attributo può avere due valori: “HIGH” se il numero dei residenti è maggiore del cinquantesimo percentile (circa 2.500 residenti); “LOW” altrimenti;
- area dove è proibita l’edificazione, per ragioni legate alla salvaguardia ambientale, alla fascia di rispetto cimiteriale, alla protezione delle risorse archeologiche, alla tutela paesaggistica, ecc. (nome dell’attributo: NOBUILD) – questo attributo può avere due valori: “HIGH” se l’area è maggiore del cinquantesimo percentile (circa cinque ettari); “LOW” altrimenti;
- tipologia della zona omogenea in cui è classificata l’area residenziale secondo le norme di attuazione del PUC di Cagliari (nome dell’attributo: AREA_COD) – questo attributo può avere quattro valori: “B-HIGH” se la tipologia è “Completamento residenziale” e la superficie è maggiore del cinquantesimo percentile (circa otto ettari); “B-LOW” se la tipologia è “Completamento residenziale” e la superficie è minore o uguale del cinquantesimo percentile; “C” se la tipologia è “Espansione residenziale”; “IC,” se la tipologia è “Intervento coordinato.”

La descrizione analitica dei valori degli attributi è contenuta nella Tabella 5.

Il procedimento delineato nella Sezione 2 è utilizzato per definire la MDRD, i DRED_K e le regole di decisione nel contesto di questo caso di studio. Il procedimento è sviluppato tramite il programma software “Rosetta,” di Øhrn (1999; 2001). Qui tutti gli attributi sono alfabetici, quindi non si pone il problema della discretizzazione delle variabili. Inoltre, non vi sono valori mancanti nella matrice dell’informazione, per cui non si pone neppure la questione del suo completamento. L’informazione si basa su valori alfabetici ed è completa.

La matrice dell’informazione è 56x8, in quanto gli elementi di OBJ, le aree residenziali del comune di Cagliari, sono cinquantasei, e gli attributi di condizione e decisione sono otto.

Attributes-Values	Occurrences Frequency (%)		Attributes-Values	Occurrences Frequency (%)	
AREA_A			L_USE		
YES	9	16,07	DRS	13	23,21
NO	47	83,93	SRS	18	32,14
			DRS-SRS	17	30,36
AREA_B			ICS	8	14,29
HIGH	28	50,00			
LOW	28	50,00	POP		
			HIGH	28	50,00
AREA_C			LOW	28	50,00
HIGH	18	32,14			
LOW	38	67,86	NOBUILD		
			HIGH	18	32,14
AREA_IC			LOW	38	67,86
HIGH	16	28,57			
LOW	40	71,43	AREA_COD		
			B-HIGH	23	41,08
			B-LOW	13	23,21
			C	13	23,21
			IC	7	12,50

Tabella 5. Statistiche descrittive degli attributi

4.2. Risultati

Le regole di decisione sono generate tramite l'algoritmo di Johnson del programma Rosetta. Questo algoritmo è il più efficiente in caso di valori alfabetici degli attributi (Øhrn 2001, pp. 24-26).

Le regole di decisione e le relative statistiche descrittive sono riportate nella Tabella 6. Le regole sono ventinove. Ogni regola si riferisce ad uno o più valori dell'attributo di decisione, a seconda che sia esatta o approssimata. L'attributo di decisione, come visto sopra, può avere quattro valori: "B-HIGH," "B-LOW," "C" ed "IC." Le regole riferite a: "B-HIGH" sono tredici (due esatte ed undici approssimate); "B-LOW" sono sette (tre esatte e quattro approssimate); "C" sono otto (cinque esatte e tre approssimate); "IC" sono sette (tre esatte e quattro approssimate).

La RHSA di ogni regola esatta è uguale a uno. La somma delle RHSA di ogni regola approssimata è pure uguale a uno. Questo indica che tutte le regole hanno una notevole affidabilità.

La LHSC delle regole va dal 21% al 2%. Questo indica che le diverse porzioni del fenomeno rappresentato dall'attributo di decisione che ciascuna regola contribuisce a spiegare è generalmente piccola, anche se vi sono differenze significative. La Tabella 6 mostra le regole di decisione ordinate per attributo di decisione e LHSC. La prima regola della Tabella 6 è riferita al valore "B-HIGH" dell'attributo di decisione. Questa regola ha il più alto valore di LHSC (21%), ed è seguita dalla seconda regola concernente lo stesso attributo (16%). Altre due regole hanno valori di LHSC comparativamente alti (11%): la terza regola concernente il valore "B-HIGH," la prima regola riguardante il valore "C" (la ventunesima regola della Tabella 6). La LHSC delle altre regole va dal 9% al 2%. Ciascuna di queste regole non spiega più di cinque casi.

La RHSC delle regole va dal 52% all'8%. Il 52% dei casi del valore dell'attributo di decisione "B-HIGH" è spiegato dalla prima regola di decisione della Tabella 6; il 39% è spiegato dalla seconda regola; il 26% dalla terza. Il 26% dei casi del valore dell'attributo di decisione "B-LOW" è spiegato dalla prima, seconda e terza regola riferite a questo valore (si tratta delle regole 12-14 della Tabella 6). Il 46% dei casi del valore dell'attributo di decisione "C" è spiegato dalla prima regola riferita a questo valore (la ventunesima regola della Tabella 6). Ciascuna delle sette regole riguardanti l'attributo di decisione "IC" spiega un caso (il 14% del totale).

La gran parte dei casi viene, dunque, spiegata da un numero piuttosto limitato di regole, rispetto al totale di ventinove. Il ruolo di ciascun attributo di condizione nella generazione delle regole di decisione è fondamentale per comprendere il fenomeno che gli attributi di condizione rappresentano.

Le regole di decisione collegano tra loro gli attributi di condizione per individuare un valore dell'attributo di decisione, cioè indicano come le norme di attuazione del PUC di Cagliari concernenti la zonizzazione del comune caratterizzano l'uso di un'area residenziale.

Le relazioni tra attributi di condizione e di decisione sono descritte in quattro parti, ciascuna delle quali si riferisce ad uno dei quattro valori che l'attributo di decisione può assumere. Nella Tabella 7 si riportano le statistiche riguardanti queste relazioni.

4.2.1. Zone di completamento residenziale con un'area maggiore di otto ettari (B-HIGH)

L'attributo di condizione più importante per individuare zone di completamento residenziale relativamente estese è POP. Alti valori di POP identificano il 61,36% dei casi di B-HIGH. Valori bassi di POP, invece, non sono mai collegati a B-HIGH.

L'attributo NOBUILD è, pure, importante (59,09% dei casi di B-HIGH). Questo attributo è certamente più importante se il suo valore è HIGH (52,27% contro 6,82% se il suo valore è LOW).

REGOLE DI DECISIONE	LHSS	RHSS	RHSA	LHSC	RHSC
1. POP(HIGH) AND NOBUILD(HIGH) => AREA_COD(B-HIGH)	12	12	1,00	0,21	0,52
2. AREA_A(NO) AND AREA_C(LOW) AND POP(HIGH) => AREA_COD(B-HIGH)	9	9	1,00	0,16	0,39
3. AREA_A(YES) AND NOBUILD(HIGH) => AREA_COD(B-HIGH)	6	6	1,00	0,11	0,26
4. AREA_B(LOW) AND AREA_C(LOW) AND POP(HIGH) => AREA_COD(B-HIGH)	5	5	1,00	0,09	0,22
5. L_USE(DRS-SRS) AND NOBUILD(HIGH) => AREA_COD(B-HIGH)	5	5	1,00	0,09	0,22
6. AREA_IC(LOW) AND L_USE(SRS) AND POP(HIGH) AND NOBUILD(LOW) => AREA_COD(B-HIGH) OR AREA_COD(B-LOW)	3	2, 1	0,67, 0,33	0,05	0,09, 0,08
7. AREA_A(YES) AND L_USE(DRS-SRS) => AREA_COD(B-HIGH)	2	2	1,00	0,04	0,09
8. AREA_B(HIGH) AND AREA_C(HIGH) AND L_USE(DRS-SRS) AND NOBUILD(LOW) => AREA_COD(B-HIGH) OR AREA_COD(IC)	2	1, 1	0,50, 0,50	0,04	0,04, 0,14
9. AREA_B(HIGH) AND AREA_IC(HIGH) AND L_USE(SRS) => AREA_COD(B-HIGH) OR AREA_COD(C)	2	1, 1	0,50, 0,50	0,04	0,04, 0,08
10. AREA_C(HIGH) AND AREA_IC(HIGH) AND L_USE(ICS) => AREA_COD(B-HIGH)	1	1	1,00	0,02	0,04
11. AREA_B(LOW) AND L_USE(DRS-SRS) AND POP(LOW) => AREA_COD(B-LOW) OR AREA_COD(IC)	3	2, 1	0,67, 0,33	0,05	0,15, 0,14
12. AREA_B(LOW) AND AREA_C(HIGH) AND AREA_IC(LOW) AND L_USE(SRS) => AREA_COD(B-LOW)	2	2	1,00	0,04	0,15
13. AREA_B(LOW) AND AREA_C(HIGH) AND AREA_IC(LOW) AND NOBUILD(LOW) => AREA_COD(B-LOW)	2	2	1,00	0,04	0,15
14. AREA_C(LOW) AND AREA_IC(HIGH) AND L_USE(SRS) => AREA_COD(B-LOW)	2	2	1,00	0,04	0,15
15. AREA_B(LOW) AND AREA_C(LOW) AND AREA_IC(LOW) AND L_USE(SRS) AND POP(LOW) => AREA_COD(B-LOW) OR AREA_COD(C) OR AREA_COD(IC)	4	1, 2, 1	0,25, 0,50, 0,25	0,07	0,08, 0,15, 0,14
16. AREA_A(NO) AND AREA_B(LOW) AND AREA_IC(LOW) AND L_USE(DRS) => AREA_COD(B-LOW)	1	1	1,00	0,02	0,08
17. AREA_B(HIGH) AND AREA_C(HIGH) AND L_USE(ICS) => AREA_COD(B-LOW)	1	1	1,00	0,02	0,08
18. AREA_B(LOW) AND AREA_C(HIGH) AND L_USE(DRS-SRS) => AREA_COD(B-LOW)	1	1	1,00	0,02	0,08
19. AREA_C(LOW) AND AREA_IC(HIGH) AND L_USE(ICS) AND POP(LOW) AND NOBUILD(LOW) => AREA_COD(B-LOW)	1	1	1,00	0,02	0,08
20. AREA_A(YES) AND POP(LOW) => AREA_COD(B-LOW) OR AREA_COD(C)	2	1, 1	1,00	0,04	0,08, 0,08
21. AREA_B(HIGH) AND AREA_C(LOW) AND POP(LOW) => AREA_COD(C)	6	6	1,00	0,11	0,46
22. AREA_A(NO) AND AREA_IC(HIGH) AND L_USE(DRS) => AREA_COD(C)	1	1	1,00	0,02	0,08
23. AREA_B(HIGH) AND AREA_C(LOW) AND L_USE(SRS) => AREA_COD(C)	1	1	1,00	0,02	0,08
24. AREA_B(LOW) AND AREA_C(LOW) AND AREA_IC(LOW) AND L_USE(ICS) => AREA_COD(C)	1	1	1,00	0,02	0,08
25. AREA_IC(HIGH) AND L_USE(ICS) AND NOBUILD(HIGH) => AREA_COD(C)	1	1	1,00	0,02	0,08
26. AREA_A(YES) AND AREA_B(HIGH) AND NOBUILD(LOW) => AREA_COD(IC)	1	1	1,00	0,02	0,14
27. AREA_B(HIGH) AND AREA_C(HIGH) AND POP(LOW) => AREA_COD(IC)	1	1	1,00	0,02	0,14
28. AREA_B(LOW) AND AREA_C(HIGH) AND AREA_IC(HIGH) AND L_USE(SRS) => AREA_COD(IC)	1	1	1,00	0,02	0,14
29. AREA_C(HIGH) AND L_USE(ICS) AND NOBUILD(HIGH) => AREA_COD(IC)	1	1	1,00	0,02	0,14

Tabella 6. Regole e statistiche descrittive

Attributi-Valori	Casi spiegati	Frequenza (%)	Attributo di decisione = "B-HIGH"	Frequenza (%)	Attributo di decisione = "B-LOW"	Frequenza (%)	Attributo di decisione = "C"	Frequenza (%)	Attributo di decisione = "IC"	Frequenza (%)
AREA_A	22	27,50	17	38,64	2	13,33	2	14,29	1	14,29
YES	11	13,75	8	18,18	1	6,67	1	7,14	1	14,29
NO	11	13,75	9	20,45	1	6,67	1	7,14	0	0,00
AREA_B	32	40,00	7	15,91	8	53,33	11	78,57	6	85,71
HIGH	14	17,50	2	4,55	1	6,67	8	57,14	3	42,86
LOW	18	22,50	5	11,36	7	46,67	3	21,43	3	42,86
AREA_C	30	37,50	7	15,91	8	53,33	10	71,43	5	71,43
HIGH	12	15,00	2	4,55	6	40,00	0	0,00	4	57,14
LOW	18	22,50	5	11,36	2	13,33	10	71,43	1	14,29
AREA_IC	22	27,50	4	9,09	10	66,67	6	42,86	2	28,57
HIGH	9	11,25	2	4,55	3	20,00	3	21,43	1	14,29
LOW	13	16,25	2	4,55	7	46,67	3	21,43	1	14,29
L_USE	34	42,50	10	22,73	12	80,00	7	50,00	5	71,43
DRS	2	2,50	0	0,00	1	6,67	1	7,14	0	0,00
SRS	15	18,75	3	6,82	6	40,00	4	28,57	2	28,57
DRS-SRS	11	13,75	6	13,64	3	20,00	0	0,00	2	28,57
ICS	6	7,50	1	2,27	2	13,33	2	14,29	1	14,29
POP	45	56,25	27	61,36	6	40,00	9	64,29	3	42,86
HIGH	28	35,00	27	61,36	1	6,67	0	0,00	0	0,00
LOW	17	21,25	0	0,00	5	33,33	9	64,29	3	42,86
NOBUILD	34	42,50	26	59,09	4	26,67	1	7,14	3	42,86
HIGH	25	31,25	23	52,27	0	0,00	1	7,14	1	14,29
LOW	9	11,25	3	6,82	4	26,67	0	0,00	2	28,57

Tabella 7. Numero e frequenza dei casi spiegati dell'attributo di decisione per ogni attributo di condizione, con riferimento alle regole di decisione

Terzo per importanza è AREA_A (38,64%). Questo attributo è leggermente più importante se il suo valore è NO (20,45% contro 18,18% se il suo valore è YES).

L'attributo L_USE individua il 22,73% dei casi di B-HIGH. Le tipologie di uso del suolo più influenti sono DRS-SRS (che identifica una situazione ibrida tra gli usi del suolo residenziale intensivo ed estensivo, 13,64%) ed SRS (che identifica l'uso del suolo residenziale estensivo, 6,82%). Meno importante l'uso del suolo ICS (industria, commercio e servizi, 2,27%). L'uso del suolo DRS (residenziale intensivo), invece, non è mai collegato a B-HIGH.

Ciascuno dei due attributi AREA_B e AREA_C individua il 15,91% dei casi di B-HIGH. Sono entrambi più importanti se il loro valore è LOW (11,36% contro 4,55% se il valore è LOW).

Il meno importante degli attributi di condizione è AREA_IC (9,09%). La sua importanza è la stessa, sia che il suo valore sia HIGH sia che sia LOW (4,55%).

Dunque, le zone di completamento residenziale relativamente estese (più di otto ettari) sono caratterizzate, in un buffer di 150 metri intorno all'area, da: un numero relativamente alto di residenti (più di 2.500); la presenza di zone di espansione residenziale, zone di completamento residenziale e zone per l'intervento coordinato in quantità bassa (rispettivamente: meno di 1,1 ettari; meno di sette ettari; meno di tre ettari); un uso del suolo caratterizzato da insediamenti

residenziali non intensivi; la presenza di una zona relativamente estesa in cui non sono consentite nuove edificazioni (più di cinque ettari). Il ruolo giocato dalla presenza o assenza di zone del Centro Storico in relazione a B-HIGH non si identifica con chiarezza.

Le prime cinque regole della Tabella 6 sono molto efficaci per individuare gli attributi di condizione per l'identificazione del valore dell'attributo di decisione definito come zona di completamento residenziale con area maggiore di otto ettari.

4.2.2. Zone di completamento residenziale con un'area minore otto ettari (B-LOW)

L'attributo di condizione più importante per individuare zone di completamento residenziale relativamente poco estese è L_USE (80% dei casi). Le tipologie di uso del suolo più influenti sono SRS (40,00%) e DRS-SRS (20,00%). Meno importanti gli usi del suolo ICS (13,33%) e DRS (6,67%).

L'attributo AREA_IC è, pure, importante (66,67% dei casi). Questo attributo è certamente più importante se il suo valore è LOW (46,67% contro 20,00% se il suo valore è HIGH).

Ciascuno dei due attributi AREA_B e AREA_C individua il 53,33% dei casi di B-LOW. Il primo è più importante se il suo valore è LOW (46,67% contro 6,67% se il valore è HIGH); il secondo, invece, è più importante se il suo valore è HIGH (40,00% contro 13,33% se il valore è LOW).

Quinto per importanza è POP (50,00%). Questo attributo è decisamente più importante se il suo valore è LOW (33,33% contro 6,67% se il suo valore è HIGH).

Bassi valori dell'attributo NOBUILD il 26,67% dei casi di B-LOW. Alti valori di NOBUILD, invece, non sono mai collegati a B-LOW.

L'attributo di condizione meno importante è AREA_A (13,33%). La sua importanza è la stessa, sia che il suo valore sia YES sia che sia NO (6,67%).

Per conseguenza, le zone di completamento residenziale relativamente poco estese (meno di otto ettari) sono caratterizzate, in un buffer di 150 metri intorno all'area, da: la presenza di una quantità alta di zone di espansione residenziale (più di 1,1 ettari) e di una quantità bassa di zone per l'intervento coordinato (meno di tre ettari); un uso del suolo caratterizzato da insediamenti residenziali non intensivi; un numero relativamente basso di residenti (meno di 2.500); la presenza di una quantità bassa di zone di completamento residenziale (meno di otto ettari); la presenza di una zona relativamente poco estesa in cui non sono consentite nuove edificazioni (meno di cinque ettari). Anche qui, il ruolo giocato dalla presenza o assenza di zone del Centro Storico in relazione a B-HIGH non si identifica con chiarezza.

Le prime quattro regole della Tabella 6 concernenti l'attributo B-LOW (si tratta delle regole 11-14) sono molto efficaci per individuare gli attributi di condizione per l'identificazione del valore dell'attributo di decisione definito come zona di completamento residenziale con area minore di otto ettari. Nella quarta regola, il valore dell'attributo AREA_IC è HIGH, il che non dovrebbe stupire, poiché il valore LOW dello stesso attributo identifica una frazione importante dei casi di B-LOW, ancorché minore di quella identificata dal valore HIGH.

4.2.3. Zone di espansione residenziale (C)

Gli attributi di condizione più importanti per individuare le zone di espansione residenziale sono AREA_B ed AREA_C. AREA_B consente di individuare il 78,57% dei casi di C. Questo attributo è certamente più importante se il suo valore è HIGH (57,14% contro 21,43% se il suo valore è LOW). Bassi valori di AREA_C identificano il 71,43% dei casi di C. Alti valori di AREA_C, invece, non sono mai collegati a C.

L'attributo POP è, pure, importante. Bassi valori di POP identificano il 64,29% dei casi di C. Alti valori di POP, invece, non sono mai collegati a C.

Quarto per importanza è L_USE (50,00%). Le tipologie di uso del suolo più influenti sono SRS (28,57%) e ICS (14,29%). Meno importante l'uso del suolo DRS (7,14%). L'uso del suolo DRS-SRS, invece, non è mai collegato a C.

L'attributo AREA_IC individua il 42,86% dei casi di C. La sua importanza è la stessa, sia che il suo valore sia HIGH sia che sia LOW (21,43%).

Gli attributi di condizione meno importanti sono AREA_A e NOBUILD. AREA_A consente di individuare il 14,29% dei casi di C. La sua importanza è la stessa, sia che il suo valore sia YES sia che sia NO (7,14%). Alti valori di NOBUILD identificano il 7,14% dei casi di C. Bassi valori di NOBUILD, invece, non sono mai collegati a C.

In conclusione, le zone di espansione residenziale sono caratterizzate, in un buffer di 150 metri intorno all'area, da: la presenza di una quantità bassa di zone di espansione residenziale (meno di 1,1 ettari) e di una quantità alta di zone di completamento residenziale (più di sette ettari); uso del suolo caratterizzato da insediamenti residenziali estensivi e da attività industriali e commerciali, e servizi; un numero relativamente basso di residenti (meno di 2.500); la presenza di zone per l'intervento coordinato (sia relative estese che relativamente poco estese). Ancora una volta, il ruolo giocato dalla presenza o assenza di zone del Centro Storico in relazione a B-HIGH non si identifica con chiarezza. La presenza di aree in cui è proibita l'edificazione (attributo NOBUILD) ha una connessione molto debole con il valore dell'attributo di decisione C, poiché compare solo in una delle regole ad esso relative, con valore HIGH.

La regola 21 della Tabella 6 è molto efficace per l'identificazione del valore dell'attributo di decisione definito come zona di espansione residenziale.

4.2.4. Zone per l'intervento coordinato (IC)

L'attributo di condizione più importante per individuare zone per l'intervento coordinato è AREA_B. Quest'attributo individua l'85,71% dei casi di IC. La sua importanza è la stessa, sia che il suo valore sia HIGH sia che sia LOW (42,86%).

Gli attributi AREA_C e L_USE sono, pure, importanti. Ciascuno dei due attributi individua il 71,43% dei casi di IC. Il primo è più importante se il suo valore è HIGH (57,14% contro 14,29% se il valore è LOW). Per ciò che concerne L_USE, le tipologie di uso del suolo più influenti sono SRS (28,57%) e DRS-SRS (28,57%). Meno importante l'uso del suolo ICS (14,29%). L'uso del suolo DRS, invece, non è mai collegato a IC.

Seguono gli attributi POP e NOBUILD. Entrambi individuano il 42,86% dei casi di IC. Alti valori di POP identificano il 42,86% dei casi di IC. Valori bassi di POP, invece, non sono mai collegati a IC. L'attributo NOBUILD è, certamente, più importante se il suo valore è LOW (28,57% contro 14,29% se il suo valore è HIGH).

Sesto per importanza è AREA_IC (28,57%). La sua importanza è la stessa, sia che il suo valore sia HIGH sia che sia LOW (14,29%).

L'attributo di condizione meno importante è AREA_A. Il valore YES di questo attributo individua il 14,29% dei casi di IC. Il valore NO di AREA_A, invece, non è mai collegato a IC.

Le zone per l'intervento coordinato, sono, quindi, caratterizzate, in un buffer di 150 metri intorno all'area, da: la presenza di zone di completamento residenziale, sia che la loro estensione sia alta sia che sia bassa (cioè più o meno estese di sette ettari); la presenza di una quantità alta di zone di espansione residenziale (più di 1,1 ettari); la presenza di zone per l'intervento coordinato, sia che la loro estensione sia alta sia che sia bassa (cioè più o meno estese di tre ettari); un uso del suolo caratterizzato da insediamenti residenziali non intensivi; un numero relativamente basso di residenti (meno di 2.500); la presenza di una zona relativamente poco estesa in cui non sono consentite nuove edificazioni (meno di cinque ettari). La presenza di zone del Centro Storico (attributo AREA_A) ha una connessione molto debole con il valore dell'attributo di decisione IC, poiché compare solo in una delle regole ad esso relative, con valore YES.

Non si individua una regola dominante tra le sette che identificano l'attributo IC.

5. VERIFICA DELLA VALIDITÀ DELLE REGOLE RELATIVE ALLA CONFIGURAZIONE SPAZIALE DELLE AREE RESIDENZIALI

Sulla base delle regole individuate nella sezione precedente, si identificano i pattern per la definizione della geografia delle aree residenziali del comune di Cagliari. Qui, da ultimo, si propone, a conclusione dell'applicazione della metodologia di RSA, una verifica delle regole di decisione alle rimanenti aree residenziali di Cagliari.

Come sottolineato più sopra, l'area di studio rispetto alla quale sono definite le regole per la configurazione spaziale delle aree residenziali è identificata dalla porzione più centrale del territorio comunale. La validità delle regole può essere valutata applicandole alle altre aree residenziali, più periferiche rispetto alla porzione scelta per lo sviluppo della RSA, ed analizzando se, e in quale misura, queste regole riescono a caratterizzare in maniera corretta la configurazione spaziale di queste aree. I risultati sono sintetizzati nella Tabella 8 e nella Figura 10.

Nella Figura 10 si nota come, nella periferia nord – nord-ovest del comune si individuino numerose parti del tessuto residenziale in cui le regole sono rispettate, ancorché sia altrettanto evidente che parte del tessuto residenziale, specialmente nelle zone centrali della Frazione di Pirri (in alto a destra), non abbia una configurazione spaziale riconducibile alle regole stesse.

Le regole di decisione, invece, non paiono essere adeguate a rappresentare la configurazione spaziale residenziale delle parti del tessuto urbano comunale del sud-ovest della città (in basso nella Figura 10), cioè dei Quartieri di Sant'Elia e del Poetto. Questo risultato non soddisfacente è spiegabile attraverso il riconoscimento della natura di questi quartieri, sostanzialmente autonoma dal resto del comune.

Il nucleo storico della Frazione di Pirri si configura come un insediamento riconducibile, sia nell'impianto urbano, che nel tessuto residenziale, a quelli della prima corona dei comuni metropolitani che circondano Cagliari. Pirri fu comune autonomo fino al 1928, anno in cui diventò parte del comune di Cagliari, in seguito al Regio Decreto n. 1056/1928, insieme ai comuni di Monserrato, Quartucciu e Selargius. Questa unione amministrativa si rese necessaria perché, in questo modo, Cagliari poté entrare a far parte del gruppo delle "grandi città" italiane, ed accedere, così, ad importanti finanziamenti statali per le opere pubbliche. Si trattò e si tratta di un'unione solo formale, come si evince dal fatto che le altre tre frazioni hanno riacquisito, in tempi più o meno recenti, la propria autonomia amministrativa, e la stessa Pirri ha ottenuto la Municipalità, ai sensi dell'art. 16 del D.Lgs. 267/2000, nel 2006.

Il tessuto residenziale del Litorale del Poetto ha avuto sviluppo, caratterizzato da una bassa densità edilizia, soprattutto nel ventesimo secolo. Le case, originariamente, erano, in larga parte, residenze stagionali, che si sono trasformate in permanenti quando la città, soprattutto nel secondo dopoguerra, si è espansa, ed il suo tessuto residenziale si è trovato in continuità con quello dell'area litoranea. Anche il Poetto, come Pirri, ha avuto una storia urbana autonoma rispetto al resto del territorio comunale, quindi è certamente attendibile che la configurazione spaziale delle sue aree residenziali non sia riconducibile a pattern osservati per le altre aree residenziali comunali.

Il dettaglio dei risultati dell'applicazione delle regole alle aree residenziali non utilizzate per la loro definizione è riportato nella Tabella 8.

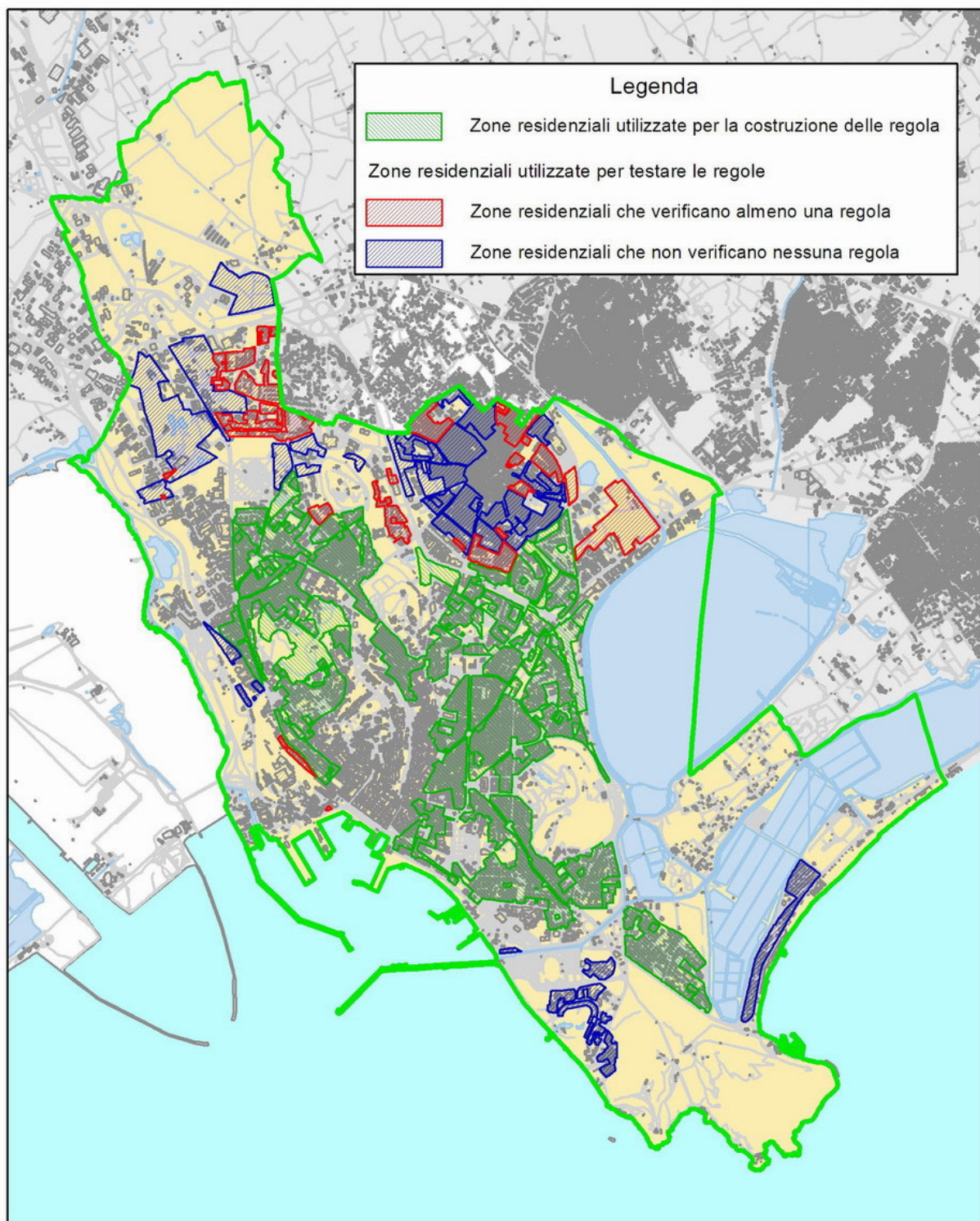


Figura 10. Geografia della verifica delle regole di decisione sulla configurazione spaziale delle aree residenziali non incluse nell'insieme delle aree utilizzate per definirle

REGOLE DI DECISIONE	Numero aree che rispettano la regola	Percentuale sul totale delle aree	Numero delle zone B-HIGH	Numero delle zone B-LOW	Numero delle zone C	Numero delle zone IC
1. POP(HIGH) AND NOBUILD(HIGH) => AREA_COD(B-HIGH)	1	1,43	1	0	0	0
2. AREA_A(NO) AND AREA_C(LOW) AND POP(HIGH) => AREA_COD(B-HIGH)	2+1	2,86+1,43	2+1	0	0	0
3. AREA_A(YES) AND NOBUILD(HIGH) => AREA_COD(B-HIGH)	0	0,00	0	0	0	0
4. AREA_B(LOW) AND AREA_C(LOW) AND POP(HIGH) => AREA_COD(B-HIGH)	0+2	0+2,86	0+2	0	0	0
5. L_USE(DRS-SRS) AND NOBUILD(HIGH) => AREA_COD(B-HIGH)	0+1	0+1,43	0+1	0	0	0
6. AREA_IC(LOW) AND L_USE(SRS) AND POP(HIGH) AND NOBUILD(LOW) => AREA_COD(B-HIGH) OR AREA_COD(B-LOW)	0	0,00	0	0	0	0
7. AREA_A(YES) AND L_USE(DRS-SRS) => AREA_COD(B-HIGH)	2	2,86	2	0	0	0
8. AREA_B(HIGH) AND AREA_C(HIGH) AND L_USE(DRS-SRS) AND NOBUILD(LOW) => AREA_COD(B-HIGH) OR AREA_COD(IC)	1+1	1,43+1,43	1+1	0	0	0
9. AREA_B(HIGH) AND AREA_IC(HIGH) AND L_USE(SRS) => AREA_COD(B-HIGH) OR AREA_COD(C)	0	0,00	0	0	0	0
10. AREA_C(HIGH) AND AREA_IC(HIGH) AND L_USE(ICS) => AREA_COD(B-HIGH)	0	0,00	0	0	0	0
11. AREA_B(LOW) AND L_USE(DRS-SRS) AND POP(LOW) => AREA_COD(B-LOW) OR AREA_COD(IC)	4	5,71	0	3	0	1
12. AREA_B(LOW) AND AREA_C(HIGH) AND AREA_IC(LOW) AND L_USE(SRS) => AREA_COD(B-LOW)	0	0,00	0	0	0	0
13. AREA_B(LOW) AND AREA_C(HIGH) AND AREA_IC(LOW) AND NOBUILD(LOW) => AREA_COD(B-LOW)	1	1,43	0	1	0	0
14. AREA_C(LOW) AND AREA_IC(HIGH) AND L_USE(SRS) => AREA_COD(B-LOW)	0	0,00	0	0	0	0
15. AREA_B(LOW) AND AREA_C(LOW) AND AREA_IC(LOW) AND L_USE(SRS) AND POP(LOW) => AREA_COD(B-LOW) OR AREA_COD(C) OR AREA_COD(IC)	4	5,71	0	1	3	0
16. AREA_A(NO) AND AREA_B(LOW) AND AREA_IC(LOW) AND L_USE(DRS) => AREA_COD(B-LOW)	1+1	1,43+1,43	0	1+1	0	0
17. AREA_B(HIGH) AND AREA_C(HIGH) AND L_USE(ICS) => AREA_COD(B-LOW)	0	0,00	0	0	0	0
18. AREA_B(LOW) AND AREA_C(HIGH) AND L_USE(DRS-SRS) => AREA_COD(B-LOW)	0	0,00	0	0	0	0
19. AREA_C(LOW) AND AREA_IC(HIGH) AND L_USE(ICS) AND POP(LOW) AND NOBUILD(LOW) => AREA_COD(B-LOW)	2	2,86	0	2	0	0
20. AREA_A(YES) AND POP(LOW) => AREA_COD(B-LOW) OR AREA_COD(C)	6+1	8,57+1,43	0	5+1	1	0
21. AREA_B(HIGH) AND AREA_C(LOW) AND POP(LOW) => AREA_COD(C)	0	0,00	0	0	0	0
22. AREA_A(NO) AND AREA_IC(HIGH) AND L_USE(DRS) => AREA_COD(C)	2	2,86	0	0	2	0
23. AREA_B(HIGH) AND AREA_C(LOW) AND L_USE(SRS) => AREA_COD(C)	0	0,00	0	0	0	0
24. AREA_B(LOW) AND AREA_C(LOW) AND AREA_IC(LOW) AND L_USE(ICS) => AREA_COD(C)	1	1,43	0	0	1	0
25. AREA_IC(HIGH) AND L_USE(ICS) AND NOBUILD(HIGH) => AREA_COD(C)	0	0,00	0	0	0	0
26. AREA_A(YES) AND AREA_B(HIGH) AND NOBUILD(LOW) => AREA_COD(IC)	0	0,00	0	0	0	0
27. AREA_B(HIGH) AND AREA_C(HIGH) AND POP(LOW) => AREA_COD(IC)	0	0,00	0	0	0	0
28. AREA_B(LOW) AND AREA_C(HIGH) AND AREA_IC(HIGH) AND L_USE(SRS) => AREA_COD(IC)	0	0,00	0	0	0	0
29. AREA_C(HIGH) AND L_USE(ICS) AND NOBUILD(HIGH) => AREA_COD(IC)	1	1,43	0	0	0	1
TOTALE	28+7	40,00+10,00	6+5	13+2	7	2
	Percentuale sul totale delle aree di questa tipologia		50,00+41,67	52,00+8,00	31,82	18,18

Tabella 8. Verifica delle regole di decisione sulla configurazione spaziale delle aree residenziali non incluse nell'insieme delle aree utilizzate per definirle (la somma del numero delle aree e delle percentuali compare nel caso le aree siano già state considerate, in una regola precedente, come “aree che rispettano la regola”)

Le regole definite e discusse nella sezione precedente consentono di identificare correttamente la tipologia di zona del 40% delle aree residenziali più periferiche, cioè di 28 aree su un totale di 70. Escludendo il Poetto ed il nucleo storico della Frazione di Pirri questa percentuale salirebbe notevolmente. Va, inoltre, osservato che decisamente più alta è la capacità di prevedere la tipologia di zona omogenea nel caso delle zone di completamento (sia B-HIGH che B-LOW, 50% e 52% rispettivamente), rispetto alle zone di espansione ed alle zone per l'intervento coordinato (31,82% e 18,18% rispettivamente). Questo è ciò che ci si poteva aspettare, in quanto i pattern relativi alle prime due tipologie di zone sono senza dubbio molto più consolidati, e, quindi, omogenei, in tutto il territorio urbano, mentre le zone di espansione e quelle per l'intervento coordinato sono, senza dubbio, molto più eterogenee tra loro, e con un grado di differenziazione che tende sicuramente ad crescere a mano a mano che ci si allontana dalle parti più interne, e più vicine alle zone di completamento, del tessuto urbano consolidato. Questa osservazione è valida sia globalmente che all'interno dei singoli contesti locali della co-nurbazione. Ad esempio, nel Quartiere di Mulinu Becciu (Figura 11) si nota come le regole di decisione definiscano in maniera corretta la configurazione spaziale delle aree delle tipologie di zona omogenea B e C, mentre non siano in grado di individuare la Zona IC (in azzurro nella parte ovest del Quartiere). Come si vede nella Figura 11, quest'ultima area è piuttosto estesa, rispetto alle altre, caratterizzata da una forma dell'insediamento ancora non ben definita e, per ora, largamente estensiva, e da una scarsa presenza di urbanizzazioni locali: il tessuto viario è ancora finalizzato al collegamento dell'area con il resto del Quartiere e con la viabilità urbana primaria, mentre le strade locali sono praticamente inesistenti.

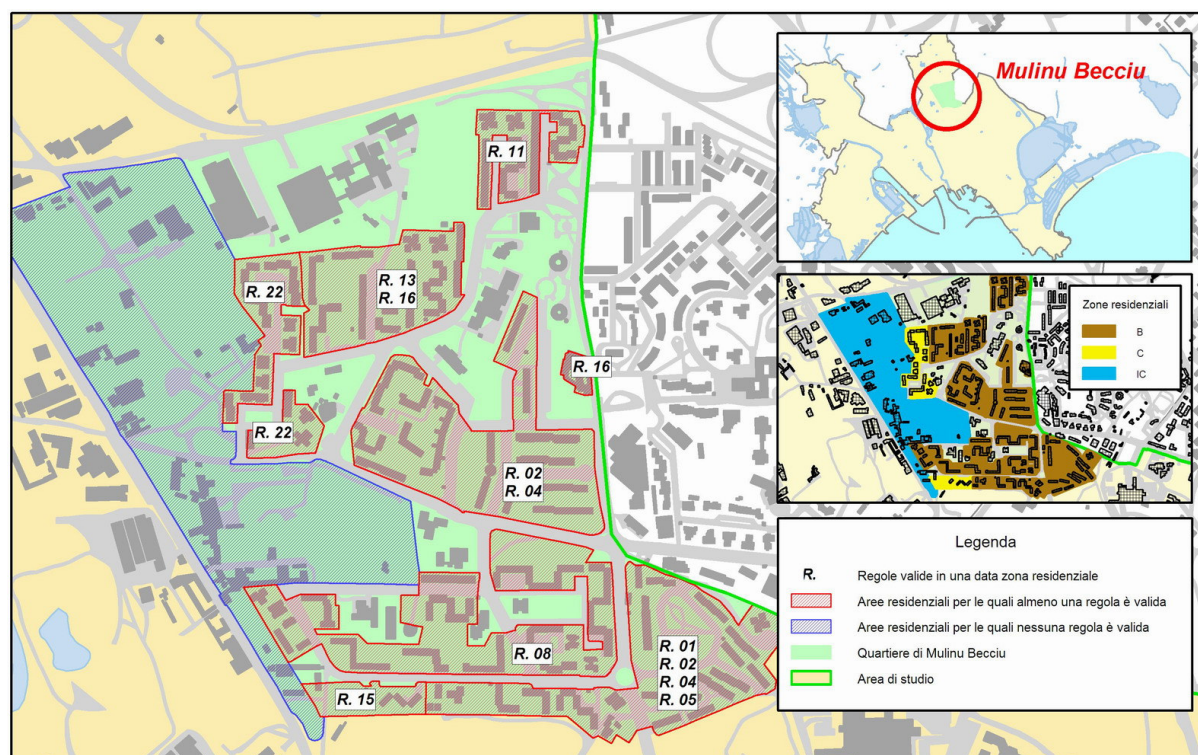


Figura 11. Geografia della verifica delle regole di decisione sulla configurazione spaziale delle aree residenziali non incluse nell'insieme delle aree utilizzate per definirle – ingrandimento relativo al Quartiere di “Mulinu Becciu”

6. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

L'analisi delle regole della configurazione spaziale delle aree residenziali mette in evidenza che le zone di completamento residenziale più estese, individuate dal valore B-HIGH dell'attributo di decisione, sono identificate, in linea di massima, da contesti con una popolazione residente relativamente alta e con una significativa presenza di aree vincolate a non essere trasformate tramite nuove edificazioni. Sono, inoltre, zone caratterizzate dalla prossimità con aree con usi del suolo residenziali non intensivi, e con zone di completamento e di espansione residenziale relativamente poco estese.

Vi sono importanti differenze tra queste zone di completamento e le zone di completamento residenziale poco estese, individuate dal valore B-LOW dell'attributo di decisione. Queste ultime sono identificate, per lo più, da contesti con presenza di zone di espansione residenziale e per l'intervento coordinato, con una popolazione residente relativamente bassa e con una presenza relativamente bassa di aree vincolate a non essere trasformate. Caratteristica fondamentale di queste zone è la prossimità ad aree con usi del suolo residenziali non intensivi.

Le zone individuate dal valore B-LOW dell'attributo di decisione si configurano come aree di confine delle zone di completamento residenziale, mentre quelle individuate dal valore B-HIGH sono localizzate più internamente. Le zone B-LOW sono caratterizzate, generalmente, dalla vicinanza con le zone di espansione residenziale e per l'intervento coordinato. Queste zone sono parte dell'espansione urbana più recente. Sono meno densamente popolate e poco interessate da vincoli relativi alla trasformabilità.

Le zone di espansione residenziale sono caratterizzate dalla prossimità a zone di completamento residenziale, a zone di espansione residenziale relativamente estese, ed a zone per l'intervento coordinato. Queste zone sono, inoltre, generalmente vicine ad aree con usi del suolo residenziali estensivi. Le zone di espansione residenziale, individuate da uso del suolo estensivo e bassa densità di popolazione residente, fungono da cuscinetto tra le zone di completamento residenziale, più densamente popolate, localizzate generalmente nelle parti più interne del tessuto urbano, e le zone per l'intervento coordinato.

Le zone per l'intervento coordinato sono caratterizzate dalla prossimità a zone di espansione residenziale relativamente estese e zone di completamento residenziale. Se, dunque, le zone di espansione hanno funzione di cuscinetto tra zone di completamento e zone per l'intervento coordinato, la configurazione spaziale di queste ultime non è esclusivamente identificata dalla vicinanza alle zone di espansione. Le zone per l'intervento coordinato sono, piuttosto, disperse in tutto il tessuto urbano comunale. Si tratta di aree ad uso misto (residenziale e servizi pubblici) che non vengono individuate dalle norme di attuazione del PUC di Cagliari con una localizzazione preferenziale in prossimità di una particolare tipologia di zona omogenea.

Per conseguenza, la configurazione spaziale delle aree residenziali di Cagliari è, complessivamente, caratterizzata da una progressiva crescita della popolazione residente, nella densità residenziale degli usi del suolo, e dei vincoli edificatori, dall'esterno verso l'interno della conurbazione. Le zone di completamento residenziale sono, per lo più, localizzate nelle parti più centrali, le zone di espansione in quelle periferiche. Le zone per l'intervento coordinato sono diffuse in tutto il territorio urbano, ed utilizzate per affrontare la questione della sottodotazione di servizi pubblici per le famiglie, sia che questa problematica si manifesti nelle parti interne che in quelle periferiche.

Il sistema di regole di decisione, costruito con riferimento alle caratteristiche delle aree residenziali interne alla conurbazione di Cagliari consente, in maniera soddisfacente, di individuare la configurazione spaziale delle aree residenziali con caratteristiche riconoscibili e strutturate, mentre avrebbe bisogno di integrazioni, cioè di ulteriori regole, per interpretare l'assetto di zone connotate da peculiarità locali (Poetto e nucleo storico di Pirri), oppure ancora prive, o fortemente carenti, di una struttura urbana riconoscibile (zona ovest di Mulinu Becciu).

In questo saggio la RSA è utilizzata per analizzare la configurazione spaziale delle aree residenziali di Cagliari. I risultati ottenuti tramite il caso di studio mettono in evidenza come l'analisi spaziale basata su un GIS consenta di definire la geografia di queste aree nel tessuto urbano comunale, accrescendo in modo sostanziale l'efficacia esplicativa del fenomeno da parte della RSA. La metodologia, discussa ed applicata al caso di studio, integra l'approccio della RSA e la tecnica del GIS per la rappresentazione dei fenomeni territoriali. Quest'integrazione si può rivelare molto utile, per la pubblica amministrazione e gli uffici pubblici di planning, nella pratica dell'analisi spaziale dei fenomeni urbani e della definizione ed attuazione delle politiche della pianificazione del territorio per la funzione residenziale. Da questo punto di vista, il saggio offre un contributo metodologico significativo.

Attraverso l'applicazione di metodologie integrate come quella sviluppata qui, i pianificatori possono migliorare sensibilmente la comprensione dei fenomeni territoriali e l'efficacia delle scelte di piano, anche in termini di presentazione e discussione di queste scelte nei confronti dell'opinione pubblica.

Le norme di attuazione concernenti la zonizzazione dei PUC dei comuni italiani sono, formalmente, abbastanza omogenee, in quanto fanno riferimento al Decreto interministeriale n. 1444/1968. Per questa ragione, i risultati ottenuti dallo sviluppo di questo caso di studio, fondato su un'applicazione integrata di RSA e GIS, costituiscono un punto di riferimento importante per confrontare le caratteristiche della configurazione spaziale delle aree residenziali delle città italiane. In altre parole, una caratteristica importante di questo approccio metodologico è la sua esportabilità. Di conseguenza, consente di evidenziare analogie e differenze sia nella configurazione spaziale, sia nelle politiche urbane che la influenzano e ne sono influenzate. La stessa metodologia è esportabile anche a contesti urbani di media dimensione, sia europei che del Nord-America, una volta studiate e sistematizzate analogie e differenze dei sistemi normativi dei Masterplan delle città di questi contesti rispetto a quello italiano.

La scelta degli attributi di condizione per la RSA comprende tutte le variabili necessarie a descrivere il mercato delle abitazioni in maniera soddisfacente. Questa scelta è, ovviamente, fortemente influenzata dalla disponibilità e dalla qualità dell'informazione. La quantità e qualità delle informazioni non sono, in Italia, sullo stesso livello degli Stati Uniti, dove gli studi empirici sul mercato immobiliare sono stati ampiamente sviluppati, ed i cui risultati sono stati ampiamente testati e validati.

L'insieme delle variabili descrittive della configurazione spaziale delle aree residenziali definito ed utilizzato per questo caso di studio è, probabilmente, la scelta migliore date le informazioni disponibili, ma, certamente, non è la scelta ottima. Ne è, comunque, un sottoinsieme abbastanza significativo.

Sotto quest'ultimo profilo, va sottolineato che vi è un certo numero di variabili che si sarebbero incluse tra gli attributi di condizione, se le informazioni ad esse relative fossero state disponibili. Una di queste è il reddito familiare, che sarebbe stato molto utile per analizzare e riconoscere l'effetto-reddito sulla configurazione spaziale delle aree residenziali di Cagliari. Altra informazione importante e non disponibile concerne la disponibilità e la capacità del sistema delle infrastrutture e dei servizi pubblici.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bruinsma, F., P. Nijkamp e R. Vreeker. 2002. A comparative industrial profile analysis of urban regions in Western Europe: an application of rough set classification. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie* 93(4): 454-463.
- Carlin, U., J. Komorowski e A. Øhrn. 1998. Rough set analysis of patients with suspected acute appendicitis. In *Proceedings of the Seventh Conference on Information Processing*

- and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU '98)*. Parigi, Francia: EDK Editions Medicales et Scientifiques. 1528-1533.
- Cerreta, M. e I. Salzano. 2004. Dalle valutazioni ex-post alle valutazioni ex-ante: un approccio metodologico per la conservazione integrata del patrimonio culturale. In *XXV Conferenza Italiana di Scienze Regionali [25th Conference of Regional Sciences]*, a cura dell'Associazione Italiana di Scienze Regionali. Novara: Associazione Italiana di Scienze Regionali. Saggio pubblicato nel compact disk degli Atti, Sessione E7: Valutazione delle politiche urbane.
- Chrisman, M. 2002. *Exploring Geographic Information Systems*. New York, NY, Stati Uniti: John Wiley & Sons.
- Cilloccu, F. e A. Cumer. 2002. La nuova Carta dell'Uso del Suolo 1:25.000 della Regione Sardegna. *Documenti del Territorio*, 51(15): 13-16.
- Comune di Cagliari. 2004a. *Piano urbanistico comunale di Cagliari*. Disponibile all'indirizzo Internet <http://comuneca.tiscali-business.it/urbanistica/Urbanistica/Puc/Indice.htm> (ultimo accesso: 22 Luglio 2006).
- Comune di Cagliari. 2004b. *Piano quadro per il recupero del Centro Storico di Cagliari*. Disponibile all'indirizzo Internet <http://comuneca.tiscali-business.it/urbanistica/Urbanistica.php> (ultimo accesso: 22 Luglio 2006).
- Curry, B. 2003. Rough Sets: Current and Future Developments. *Expert Systems*, 20(5): 247-250.
- Gardner, M., M. Lalmas, and I. Ruthven. 1996. Effect on noise reduction using rough set theory on the accuracy of K-NN classification of radiological reports. *Technical report* 1996-31. Glasgow, Regno Unito: Department of Computing Science, University of Glasgow.
- Fayyad, U., G. Piatetsky-Shapiro and P. Smyth. 1996. Machine Learning and Data Mining. *AI Magazine*, 17(3): 37-54.
- ISTAT. 2001. Censimento della popolazione e delle abitazioni [Population and Houses Census]. Roma: Istituto Poligrafico dello Stato.
- Lee, S. e G. Vachtsevanos. 2002. An application of rough set theory to defect detection of automotive glass. *Mathematics and Computers in Simulation* 60: 225-231.
- Longley, P.A., M.F. Goodchild, D.J. Maguire e D.W. Rhind. 2001. *Geographic Information. System and Science*. Chichester, Regno Unito: John Wiley & Sons.
- Øhrn, A. 1999. *Discernibility and Rough Sets in Medicine: Tools and Applications*. Trondheim, Norvegia: Department of Computer and Information Science, Norwegian University of Science and Technology.
- Øhrn, A. 2001. *Rosetta Technical Reference Manual*. Trondheim, Norvegia: Department of Computer and Information Science, Norwegian University of Science and Technology.
- Murgante, B. e A. Sansone. 2005. L'uso della densità di Kernel e del rough set per la definizione degli ambiti periurbani. Saggio presentato al Seminario Seminar "Urbing – Giornate di lavoro sull'alta formazione sui temi della pianificazione, gestione e governo del territorio". Potenza. 29-30 Aprile.
- Pawlak, Z. 1982. Rough sets. *International Journal of Information & Computer Sciences* 11: 341-356.
- Pawlak, Z. 1991. *Rough sets – Theoretical aspects of reasoning about data*. Boston, MA, Stati Uniti e Londra, Regno Unito: Kluwer Academic Publishers.
- Pawlak, Z. e R. Slowinski. 1994. Decision analysis using rough sets. *International Transactions in Operational Research* 1(1): 107-114.
- Pawlak, Z. 2001. Rough set theory. *KI* 15(3): 38-39.

- Peña, J.M., S. Létourneau, and Fazel Famili. 1999. Application of rough sets algorithms to prediction of aircraft component failure. In *Advances in intelligent data analysis: Third international symposium, IDA-99, Amsterdam, The Netherlands, August 1999. Proceedings*, a cura di D.J. Hand, J.N. Kok e M.R. Berthold. Heidelberg, Germania: Springer-Verlag GmbH. 473-486.
- Regione Autonoma della Sardegna. 2003. *Il sistema informativo territoriale della Regione Autonoma della Sardegna*. Disponibile all'indirizzo Internet http://www.sitos.regione.sardegna.it/entilocali/pianificazione_territoriale/html/index_sit.htm (ultimo accesso: 22 Luglio 2006).
- Yang, Z., T. Li, F. Jin, and S. Xu. 2002. *Rough set in data mining*. Lezioni del corso su "Data mining concepts and techniques" di Anita Wasilewska (course # CSE544) presso la Stony Brook State University di New York, NY, Stati Uniti.

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND DECISION PROCESSES OF URBAN PLANNING: A CASE STUDY OF ROUGH SET ANALYSIS CONCERNING THE RESIDENTIAL AREAS OF THE CITY OF CAGLIARI

Sabrina LAI, Corrado ZOPPI

Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Sezione di Urbanistica, Università di Cagliari, Piazza d'Armi 16, 09123 Cagliari, Italy; tel.: ++39 070 6755210, ++39 070 6755216, telefax: ++39 070 6755215; e-mail: sabrinalai@unica.it, zoppi@unica.it

ABSTRACT

In Italy, urban planning is based on the city Masterplan. This plan identifies the future urban organization and a system of zoning rules. Land-use policies are based on these rules. The zoning rules should synthesize environmental and spatial knowledge and policy decisions concerning the possible futures, with reference to the different urban functions.

In this essay, a procedure of analysis of the city Masterplan of Cagliari, the regional capital city of Sardinia (Italy), is discussed and applied. This procedure is referred to the residential areas. The procedure tries to explain the urban organization of the housing areas by using a system of variables based on the integration of different branches of knowledge concerning the urban environment.

The decisions on the urban futures that the zoning rules entail are critically analyzed in terms of consistency with this knowledge system.

The procedure consists of three phases. In the first phase, the urban environment is analyzed and described. This is done by defining and developing a geographic information system. This system utilizes a spatial analysis approach to figure out the integration of the residential areas into the urban fabric.

The second phase is inferential. Based on the geographic information system developed in the first phase, a Rough Set Analysis (RSA) method is applied. This technique allows to recognize the connection patterns between the urban knowledge system and the city planning decisions.

In the third phase, we test the forecasting power of the rules identified through the RSA technique. In this phase, with reference to the residential areas of the city of Cagliari which were not used in the RSA procedure, the spatial configuration of the residential areas defined by the RSA rules is compared to the real spatial configuration. Thus, it is possible to assess how much the decision rules of the RSA are effective in forecasting this spatial configuration.

The patterns, the decision rules which come from the RSA implementation, are important starting points for further investigation on the development of decision models concerning urban planning.

The zoning rules for urban planning of the Italian cities are quite similar to each other, since they are based on the same national law enacted by decree (n. 1444/1968). For this reason, the results obtained by the GIS-based RSA could be an important reference point to compare the characteristics of the spatial configuration of the residential areas of the Italian cities. In other words, an important feature of the methodology developed in this paper is that it is easily exportable, and, as a consequence, it allows for comparisons of different spatial configuration and policies. Moreover, the methodology can be applied to analyze the spatial configuration of the residential areas of other medium-sized European and North-American cities, once a thorough comparison of the zoning rules of their Masterplans is developed.