

POLITECNICO DI MILANO

SCUOLA DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E TERRITORIALE

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



**ANALISI SPAZIALI E VALUTAZIONI ECONOMICHE
DEI FENOMENI DI SPRAWL E SPRINKLING SULLA
BASE DELLA FRAMMENTAZIONE URBANA NELLA
PROVINCIA DI LODI**

Relatore:

Prof. Ing. Paolo Pileri

Correlatore:

Dott.ssa Silvia Ronchi

Tesi di Laurea Magistrale di:

Giancarlo MESSINA

Matricola: 819973

Mirko SOTTILE

Matricola: 820333

Anno Accademico 2014/2015

Milano, 18 Dicembre 2015

“Dopo mesi di duro lavoro ma ricco di soddisfazioni, la Tesi è finalmente conclusa.

Il mio primo pensiero è rivolto ai miei genitori Maria e Gaetano e a mia sorella Francesca. Ringrazio loro con tutto il cuore per avermi incoraggiato e sostenuto in questi bellissimi anni universitari, aiutandomi a superare tutte le difficoltà.

Lo ammetto... questa esperienza di vita, oltre che di conoscenza, è stata impegnativa ma appagante e se potessi tornare indietro rifarei la scelta con forse ancora più determinazione.

Una sentita e calorosa gratitudine va al nostro relatore e al nostro correlatore, rispettivamente il Prof. Ing. Paolo Pileri e la Dott.ssa Silvia Ronchi, per averci seguito in tutto questo anno di lavoro.

Vorrei ringraziare anche il Prof. Ing. Bernardino Romano e la Dott.ssa Ing. Lorena Fiorini, per la loro disponibilità.

Ovviamente non potevo dimenticarmi di ringraziare il mio collega, di studio e di lavoro, Mirko, con cui ho condiviso tutte le difficoltà e tutte le soddisfazioni di questa Tesi Magistrale.

Grazie a tutti, e..... ARRIVEDERCI POLIMI!!!”

Giancarlo Messina

“Un primo doveroso ma soprattutto sentito ringraziamento va ai miei genitori, Massimo e Patrizia, e ai miei nonni, i quali mi hanno sempre sostenuto e supportato durante tutta la carriera da studente che, dopo quasi venti anni, termina oggi con l’arrivo a questo ulteriore traguardo.

Desidero esprimere la mia sincera gratitudine al Prof. Paolo Pileri e alla Dott.ssa Silvia Ronchi per i preziosi insegnamenti durante questi mesi di stesura della Tesi e per il tempo che ci hanno dedicato. Inoltre, ringrazio sentitamente il Prof. Bernardino Romano e l’Ing. Lorena Fiorini, i quali hanno dato il vero e proprio via per questo lavoro.

Vorrei qui ricordare tutti i miei amici e colleghi universitari con cui ho condiviso ogni giorno al Politecnico di Milano, ma sono tantissimi. Tra di essi, un particolare ringraziamento va a Simone e a Giancarlo, con il quale ho condiviso le gioie e i dolori di questi ultimi due anni e, soprattutto, nella scrittura di questa Tesi.

Infine, last but not least, ringrazio la mia fidanzata Antonella per il sostegno e per essermi stata accanto in ogni momento durante questi due anni.

Ancora una volta, grazie!”

Mirko Sottile

INDICE GENERALE

INDICE GENERALE	III
INDICE DELLE FIGURE	VI
INDICE DELLE TABELLE	IX
INDICE DEI GRAFICI	XI
INTRODUZIONE	XII
1 IL SUOLO: DEFINIZIONE, CARATTERISTICHE E MINACCE	1
1.1 IL SUOLO E I SERVIZI ECOSISTEMICI	1
1.2 COPERTURA, USO E CONSUMO DEL SUOLO	6
1.3 EFFETTI AMBIENTALI DEL CONSUMO DI SUOLO	7
1.4 LE MINACCE	9
1.5 L'IMPERMEABILIZZAZIONE DEL SUOLO: LIMITAZIONE, MITIGAZIONE E COMPENSAZIONE	10
1.6 LA DEFINIZIONE DI SUOLO IN ITALIA	12
2 DUE FORME DI URBANIZZAZIONE: SPRAWL & SPRINKLING	14
2.1 URBAN SPRAWL	15
2.2 RICADUTE DELLO SPRAWL	19
2.3 COME VALUTARE L'URBANIZZAZIONE	20
2.4 SPRINKLING: UNA FORMA DI DISPERSIONE ITALIANA	24
3 ANALISI DELLA FRAMMENTAZIONE URBANA PER I COMUNI DEL LODIGIANO.....	29
3.1 CIRCOSCRIZIONE GEOGRAFICA.....	30
3.2 DATI DUSAF E ARCO TEMPORALE DI RIFERIMENTO	35

3.3	PERCORSO METODOLOGICO	38
3.4	INDICI SPAZIALI UTILIZZATI	41
3.4.1	Procedimento, preparazione e caricamento dei dati	42
3.4.2	Indice CoreDiss	45
3.4.3	Indice NewDist.....	49
3.4.4	Indice SPX.....	53
4	ANALISI DEI RISULTATI	60
4.1	RISULTATI INDICE SPX	62
	<i>Risultati indice SPX in relazione alla popolazione residente</i>	<i>80</i>
4.2	RISULTATI INDICE COREDISS	85
4.3	RISULTATI INDICE NEWDIST	91
4.4	APPROFONDIMENTO SU PARTICOLARI CASI DI STUDIO.....	96
	<i>Caselle Landi.....</i>	<i>96</i>
	<i>Meleti.....</i>	<i>98</i>
	<i>Codogno</i>	<i>101</i>
	<i>Lodi.....</i>	<i>103</i>
5	IMPATTO ECONOMICO DELLA NUOVA FRAMMENTAZIONE URBANA	107
5.1	PROCEDIMENTO	108
5.2	QUANTIFICAZIONE MONETARIA	111
	<i>Costi di realizzazione delle opere per il collegamento della nuova frammentazione con la rete stradale.....</i>	<i>113</i>
	<i>Costi di realizzazione delle opere per il collegamento della nuova frammentazione con il tessuto urbano compatto</i>	<i>113</i>
5.3	COSTI ECONOMICI NEI DIVERSI SCENARI DI URBANIZZAZIONE.....	114
	CONCLUSIONI	117
	BIBLIOGRAFIA	120
	SITOGRAFIA.....	124
	APPENDICE 1 SOFTWARE UTILIZZATI.....	125
	APPENDICE 2 APPROFONDIMENTO SUL COMANDO ‘DISSOLVE’ PER IL CALCOLO DELL’INDICE SPX.....	130

APPENDICE 3 TABELLE DI ANALISI PER OGNI COMUNE..... 135

**APPENDICE 4 OPPORTUNITA' E CRITICITA' DELLA METODOLOGIA E
DEGLI INDICI UTILIZZATI 193**

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Profilo verticale di un suolo.....	2
Figura 2: I servizi ecosistemici del suolo (Haygarth P.M., Ritz K., 2009)	4
Figura 3: Esempio di consumo di suolo: area EXPO Milano 2015, prima e dopo l'intervento	7
Figura 4: Esempio di urban sprawl a Calgary, Alberta, Canada	15
Figura 5: Rappresentazione visiva dell'urban sprawl (Jaeger et al., 2010)	19
Figura 6: Illustrazione del criterio 7 con una configurazione lineare. Le due patch esterne sono fisse, solo quella al centro può muoversi verso sinistra o destra	23
Figura 7: Evoluzione urbana in tre istanti temporali successivi. Sopra: in continuità di aggregato (urban sprawl), sotto: di tipo metastatico (sprinkling), tipica in Italia (Romano et al., 2011)	25
Figura 8: Sprinkling esteso (sopra) e lineare (sotto). Sulla destra vengono rappresentate le densificazioni dei tessuti urbani per future esigenze di incrementi insediativi e dotazioni di attrezzature e servizi pubblici nei due diversi casi di sprinkling (Romano et al., 2015).....	28
Figura 9: Regione Lombardia con Province (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori).....	31
Figura 10: I 61 Comuni della Provincia di Lodi (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori).....	32
Figura 11: Provincia di Lodi - usi del suolo al 2012 (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori).....	34
Figura 12: Interfaccia grafica di FRAGSTATS 4.2.1	39
Figura 13: In blu viene raffigurata la distanza tra i centroidi dei relativi poligoni, in rosso la minor distanza tra le due geometrie (Fonte: elaborazione degli autori).....	40
Figura 14: Geometrie adiacenti (Fonte: elaborazione degli autori).....	41
Figura 15: DUSAF 1.0, Comune di Casalpusterlengo	43
Figura 16: DUSAF 1.0, nucleo estratto, Comune di Casalpusterlengo.....	44
Figura 17: DUSAF 1.0, nucleo estratto dissolto, Comune di Casalpusterlengo	44
Figura 18: DUSAF 1.0, Comune di Casalpusterlengo senza nucleo.....	45

Figura 19: Comune di Guardamiglio. In verde chiaro è rappresentato il nucleo compatto del Comune dopo l'operazione di "Dissolve" mentre in verde scuro le aree non appartenenti ad esso (DUSAF 1.0, 1999).....	46
Figura 20: Comune di Guardamiglio. Nella figura in alto è raffigurato il DUSAF 2.1 (in cui i poligoni rossi costituiscono le nuove aree insediate tra il 1999 e il 2007) con il nucleo compatto dissolto del 1999 (in verde chiaro). Nella figura in basso è raffigurato il DUSAF 4 (in cui i poligoni blu costituiscono le nuove aree insediate tra il 2007 e il 2012), sempre con il nucleo al tempo iniziale.....	48
Figura 21: Comune di Terranova dei Passerini. In grigio vengono raffigurati i poligoni appartenenti al DUSAF 1.0 (1999) delle sole classi 11 e 12, in blu le nuove aree costruite fino al 2007 (e appartenenti al DUSAF 2.1). Il nucleo comunale è rappresentato dal poligono verde.....	50
Figura 22: Comune di Terranova dei Passerini. In grigio le patch appartenenti al DUSAF 2.1 (2007) delle sole classi 11 e 12, in rosso le nuove aree insediate costruite fino al 2012 (DUSAF 4). Il nucleo comunale è rappresentato dal poligono verde	51
Figura 23: Comune di Maleo, dato DUSAF 1.0. Da notare come la frammentazione che lo caratterizza sia notevole	55
Figura 24: Comune di Maleo, dato DUSAF 1.0. Il nucleo comunale è rappresentato in viola	55
Figura 25: Comune di Maleo, dato DUSAF 1.0. Si noti come l'operazione di "Dissolve" abbia fuso tra loro tutte le geometrie confinanti fra loro.....	56
Figura 26: Comune di Maleo, dato DUSAF 1.0. Le croci simboleggiano i centroidi del nucleo compatto e delle geometrie esterne ad esso, rispettivamente	57
Figura 27: Comune di Maleo, in verde DUSAF 1.0, in viola le nuove aree realizzate tra il 1999 e il 2007, mentre in arancione quelle realizzate tra il 2007 e il 2012.....	59
Figura 28: Provincia di Lodi, dato DUSAF 4. Numero di centroidi di ogni area urbanizzata sul singolo ettaro (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori) ..	61
Figura 29: Indice di frammentazione SPX al 1999 - Provincia di Lodi (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori)	77
Figura 30: Indice di frammentazione SPX al 2007 - Provincia di Lodi (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori)	78
Figura 31: Indice di frammentazione SPX al 2012 - Provincia di Lodi (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori)	79

Figura 32: Zoom sul Comune di Caselle Landi. In verde chiaro il nucleo comunale al 1999, in grigio le classi 11 e 12 del DUSAF 1.0, in rosso le aree insediate al 2007, in blu quelle al 2012	97
Figura 33: Comune di Meleti. In verde chiaro il nucleo comunale al 1999, in grigio le classi 11 e 12 del DUSAF 1.0, in rosso le aree insediate al 2007, in blu quelle al 2012 ...	100
Figura 34: Comune di Codogno. In verde chiaro il nucleo comunale al 1999, in grigio le classi 11 e 12 del DUSAF 1.0, in rosso le aree insediate al 2007, in blu quelle al 2012	102
Figura 35: Comune di Lodi. In verde chiaro il nucleo comunale al 1999, in grigio le classi 11 e 12 del DUSAF 1.0, in rosso le aree insediate al 2007, in blu quelle al 2012 ...	104
Figura 36: In blu vengono rappresentate le aree e la rete stradale già esistenti. In arancione le nuove aree insediate in maniera dispersa e in rosso gli eventuali nuovi collegamenti da realizzare per mettere in connessione queste nuove aree con la rete stradale principale (Fonte: elaborazione degli autori)	109
Figura 37: In blu vengono rappresentate le aree e la rete stradale già esistenti. In arancione le nuove aree insediate in maniera dispersa e in rosso gli eventuali nuovi collegamenti per mettere in connessione queste nuove aree con l'urbanizzato compatto (Fonte: elaborazione degli autori)	109
Figura 38: Zoom della mappa della rete stradale provinciale a scala 1:5.000 con le 160 nuove aree disperse (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori)	110
Figura 39: Interfaccia grafica di ArcGIS 10.2.2	126
Figura 40: Comune di Codogno, dato DUSAF 4, in formato vettoriale a sinistra, raster a destra (Fonte: elaborazione degli autori)	127
Figura 41: QGIS, patch con relativi centroidi, sovrapposte con immagine Google Satellite (Fonte: elaborazione degli autori)	128
Figura 42: Una geometria del Comune di Terranova dei Passerini con relativi centroidi, dato DUSAF 1.0 in verde, e dato DUSAF 2.1 in azzurro. Da notare come a sinistra l'area venga descritta attraverso due aree confinanti, mentre a destra no (Fonte: elaborazione degli autori)	131
Figura 43: Nucleo non dissolto del Comune di Maleo con relativi centroidi	132
Figura 44: Nucleo non dissolto del Comune di Maleo e relativi centroidi dei poligoni, con una nuova area insediata	133
Figura 45: Nucleo dissolto del Comune di Maleo con il conseguente centroide di tutta l'area compatta	134

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Classificazione dei servizi ecosistemici (modello adattato da MEA, 2005; De Groot, 2009; CICES, 2014).....	5
Tabella 2: Indicatori e indici per le analisi spaziali dell'urban sprawl (Lelli C., Pezzi G., 2012).....	21
Tabella 3: Schemi tipologici nazionali e internazionali dello sprawl e dello sprinkling (Romano et al., 2015).....	26
Tabella 4: Estratto dalla legenda DUSAF (classe 1 - aree antropizzate) con evidenziate, nel riquadro rosso, le sottoclassi 11 e 12 prese in considerazione nel lavoro	37
Tabella 5: Calcolo delle distanze minime fra le patch e il nucleo compatto dissolto all'istante temporale iniziale ($t_0 = 1999$) per il Comune di Guardamiglio.....	47
Tabella 6: Distanza minima media delle aree rispetto al nucleo compatto dissolto al 1999 (prima colonna), 2007 (terza colonna) e 2012 (quinta colonna) con relative variazioni negli intervalli temporali 2007-1999 e 2012-2007.....	49
Tabella 7: La prima colonna rappresenta il codice identificativo delle nuove aree costruite tra il 1999 e il 2007 (in totale sono undici), la seconda quello della patch presente al 1999 più vicina alla nuova. La terza colonna restituisce il calcolo della distanza	51
Tabella 8: La prima colonna rappresenta il codice identificativo delle nuove aree costruite tra il 2007 e il 2012 (in tutto sono dieci), la seconda quello della patch presente al 2007 più vicina alla nuova. La terza colonna restituisce il calcolo della distanza minima tra di esse. La quarta il valor medio delle dieci distanze	52
Tabella 9: Comune di Maleo, dato DUSAF 1.0. Ogni riga sintetizza la minor distanza tra la geometria i-esima esterna al nucleo (identificata dal proprio codice, in colonna 'IN_FID') e il nucleo compatto dissolto, codice 0, colonna 'NEAR_FID'	58
Tabella 10: Valore dell'indice SPX per il Comune di Maleo nei tre istanti temporali considerati	59
Tabella 11: Indice SPX al 1999 e superfici dei 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi	63
Tabella 12: Indice SPX al 1999 e relative variazioni al 2007 e al 2012	68
Tabella 13: Valor medio dell'indice SPX per l'intera Provincia di Lodi nei tre istanti temporali considerati	80

Tabella 14: Censimenti ISTAT, densità residenziale, e variazione percentuale SPX per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi.....	82
Tabella 15: Valori indice CoreDiss al 1999 e relative variazioni per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi	86
Tabella 16: Numero di nuove aree e corrispondente indice NewDist al 2007 per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi	92
Tabella 17: Numero di nuove aree e corrispondente indice NewDist al 2012 per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi	94
Tabella 18: Comune di Caselle Landi: SPX, CoreDiss e NewDist con relative variazioni	98
Tabella 19: Comune di Meleti: SPX, CoreDiss e NewDist con relative variazioni.....	101
Tabella 20: Comune di Codogno: SPX, CoreDiss e NewDist con relative variazioni	103
Tabella 21: Comune di Lodi: SPX, CoreDiss e NewDist con relative variazioni.....	105
Tabella 22: Costi unitari delle opere e dei servizi in progetto e relative fonti	112
Tabella 23: Costi di realizzazione delle opere per il collegamento delle nuove aree disperse alla rete stradale.....	113
Tabella 24: Costo di servizio illuminazione pubblica per il collegamento delle nuove aree disperse alla rete stradale.....	113
Tabella 25: Costi di realizzazione delle opere per il collegamento delle nuove aree disperse rispetto a quelle preesistenti	114
Tabella 26: Costo di servizio illuminazione pubblica per il collegamento delle nuove aree disperse rispetto a quelle preesistenti	114
Tabella 27: Costi stimati nei due scenari di urbanizzazione	115
Tabella 28: Costo del tempo [€/passeggero*ora] per motivo ed ambito di spostamento (TRT - Trasporti e Territorio, 2003)	116
Tabella 29: Caratteristiche, vantaggi e criticità dei tre indici utilizzati.....	195

INDICE DEI GRAFICI

Grafico 1: Indice SPX al 1999 in funzione della superficie comunale	64
Grafico 2: Indice SPX al 1999 in funzione della superficie antropizzata	65
Grafico 3: Indice SPX al 1999 in funzione della percentuale di superficie antropizzata... ..	66
Grafico 4: Indice SPX al 1999, superficie comunale ed antropizzata per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi	67
Grafico 5: Indice SPX al 2007 in funzione della superficie comunale	69
Grafico 6: Indice SPX al 2012 in funzione della superficie comunale	70
Grafico 7: Indice SPX al 1999 ed al 2012 in funzione della superficie comunale.....	71
Grafico 8: Variazione percentuale SPX nell'intervallo temporale 1999 ÷ 2012 per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi.....	73
Grafico 9: Classificazione dei Comuni in base al valore di SPX al 1999	74
Grafico 10: Classificazione dei Comuni in base al valore di SPX al 2007	75
Grafico 11: Classificazione dei Comuni in base al valore di SPX al 2012	76
Grafico 12: Indice SPX al 1999 in funzione della popolazione residente al 2001	81
Grafico 13: Variazioni percentuali SPX e popolazione residente per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi	83
Grafico 14: Variazione percentuale popolazione - SPX.....	84
Grafico 15: Classificazione dei 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi in base alla variazione di CoreDiss	87
Grafico 16: Variazione percentuale CoreDiss - SPX	89
Grafico 17: Indice CoreDiss al 1999 in funzione della superficie comunale.....	90
Grafico 18: Indice CoreDiss al 1999 in funzione della popolazione residente al 2001	90
Grafico 19: Classificazione Comuni in base al numero di aree al 2007 realizzate non in adiacenza rispetto quelle al 1999.....	93
Grafico 20: Classificazione Comuni in base al numero di aree al 2012 realizzate non in adiacenza rispetto quelle al 2007.....	95

INTRODUZIONE

Nonostante negli ultimi anni si sia assistito alla nascita di una serie di iniziative volte alla riduzione del consumo di suolo, l'espansione delle aree antropizzate continua ininterrottamente a scapito di una omogeneità del paesaggio, con le relative conseguenze negative in termini di qualità ambientale, di consumo di risorse naturali, di potenziale produzione di cibo e di costi economici.

Essendo il suolo una risorsa effettivamente non rinnovabile, 500 anni è il tempo minimo per la formazione di 2,5 cm di spessore (Pileri, 2015), si può comprendere come la sua salvaguardia debba essere inserita in cima a tutte quelle agende che fanno del concetto di sostenibilità ambientale il loro punto forte.

Questa continua espansione di aree antropizzate, caratterizzata da fenomeni di diffusione urbana, trasforma inesorabilmente e soprattutto in modo permanente i suoli agricoli e naturali in nuovi quartieri residenziali, spesso a bassa densità.

Tale tendenza, in costante crescita, a consumare e rimuovere per sempre suoli e territori di grande rilevanza per l'ambiente, determina effetti ambientali e sociali non trascurabili, e porta alla creazione di centri urbani di dimensione medio-piccola, collocati esternamente ai principali poli metropolitani, in un continuum spaziale di insediamenti sparsi e non coesi, causando, oltre alle importanti perdite di suoli e servizi ecosistemici, un cambiamento totale nell'integrità del paesaggio, con conseguente frammentazione e mancanza di una vera e propria identità.

Mentre in molti Paesi del mondo, le forme dell'organizzazione e diffusione urbana utilizzate si possono identificare con il termine *urban sprawl* (urbanizzazione diffusa), in Italia i modelli insediativi presentano rispetto agli altri delle differenze non trascurabili tali da giustificare l'utilizzo del termine *sprinkling*.

Con il termine *sprinkling*, la cui traduzione letterale coincide con "a spruzzo", si vuole descrivere una conformazione urbana non compatta né compattabile, nella quale una serie di insediamenti di piccole dimensioni risultano molto dispersi tra loro, seguendo una fisionomia estesa piuttosto che lineare.

Questa dispersione è in un certo senso caotica e disordinata in quanto non risulta in alcun caso assecondata dai piani urbanistici negli ultimi decenni.

Sia l'urbanizzazione diffusa (*urban sprawl*) che quella dispersa (*sprinkling*) producono non solo la perdita di paesaggi, suoli e relativi servizi ecosistemici, ma sono anche modelli insediativi energivori e predisponenti alla diffusione del sistema di mobilità privata.

Vista l'importanza che lo *sprinkling* possiede nei confronti del nostro Paese, ci si pone pertanto l'obiettivo di studiarne come esso varia spazialmente e temporalmente, e come si differenzia rispetto al ben più studiato *urban sprawl*.

Scegliendo come area di studio la Provincia di Lodi, si vuole infine comprendere se e come le politiche di governance territoriale abbiano causato una maggiore frammentazione urbana nel corso del tempo, in modo tale da quantificare in termini monetari le ricadute dello *sprawl* e dello *sprinkling* sulla collettività.

1

IL SUOLO: DEFINIZIONE, CARATTERISTICHE E MINACCE

Prima di entrare in dettaglio a parlare di quale sia l'obiettivo del presente elaborato e delle analisi e valutazioni effettuate, è di fondamentale importanza introdurre il *soggetto* che risente e su cui ricadono le azioni antropiche riguardanti l'urbanizzazione, lo sviluppo insediativo e il consumo di suolo.

Esso è rappresentato dal *suolo*, il quale svolge molteplici funzioni conosciute, condivise ma non sempre tenute in considerazione. Per questo motivo vi è la necessità di leggi per la tutela, la gestione sostenibile e la conservazione di tale risorsa a rischio.

Di conseguenza, in questo capitolo, vengono trattati i principali servizi svolti dal suolo, le minacce a cui è soggetto, in particolare il *soil sealing*, e quindi gli effetti che ricadono sull'ambiente e sulle forme di vita, compreso l'uomo.

1.1 IL SUOLO E I SERVIZI ECOSISTEMICI

Nel 2006, la Commissione Europea definisce il suolo come:

Lo strato superficiale che ricopre la crosta terrestre. Il suolo è prodotto dalla degradazione naturale del substrato roccioso, chiamato roccia madre, dovuto all'azione chimica, fisica e biologica degli agenti superficiali e degli organismi presenti su di esso. Il suolo è composto da una parte solida, costituita dalla componente organica e da quella minerale, una parte liquida, e da una parte gassosa.

Commissione Europea, 2006



Figura 1: Profilo verticale di un suolo

Il suolo è una risorsa rinnovabile, ma non viene considerata tale in quanto la velocità di degradazione è molto più elevata se paragonata ai processi che lo generano e, per tale motivo, deve essere preservato da tutti quei fenomeni che ne causano la scomparsa, gestendo l'intera risorsa in maniera sostenibile (APAT, 2008; ISPRA, 2013; ISPRA, 2015).

I fenomeni di degrado della qualità dei suoli non si limitano alla perdita di questo elemento, ma si riflettono sulla qualità ambientale complessiva dei territori, provocando impatti negativi sulla qualità delle acque superficiali e sotterranee, sulla salute umana, sul clima, sulla biodiversità e sulla produzione agroalimentare. Un suolo vitale e ben mantenuto rappresenta un'efficace barriera e un filtro nei confronti di potenziali inquinamenti.

Il suolo svolge delle funzioni fondamentali garantendo, ad esempio, l'assorbimento delle acque di precipitazione, la trasformazione di sostanze e nutrienti e la fornitura di una serie di materie prime come la biomassa.

Quindi, oltre ad essere un elevato stock di carbonio, rappresenta un complesso sistema biologico, habitat della biodiversità di flora e fauna, sostenitore della produttività biologica e in generale della qualità e sostenibilità ambientale; in condizioni naturali, insieme all'intera biosfera, fornisce al genere umano i seguenti servizi ecosistemici (Blum, 2005; Commissione Europea, 2006; APAT, 2008; Haygarth e Ritz, 2009; Turbé et al., 2010):

- **Servizi di approvvigionamento** (prodotti alimentari e biomassa, materie prime, ecc.);
- **Servizi di regolazione** (regolazione del clima, cattura e stoccaggio del carbonio, controllo dell'erosione e dei nutrienti, regolazione della qualità dell'acqua, protezione e mitigazione dei fenomeni idrologici estremi, ecc.);
- **Servizi di supporto** (supporto fisico, decomposizione e mineralizzazione di materia organica, habitat delle specie, riserva genetica, conservazione della biodiversità, ecc.);
- **Servizi culturali** (servizi ricreativi e culturali, funzioni etiche e spirituali, paesaggio, patrimonio naturale, ecc.).

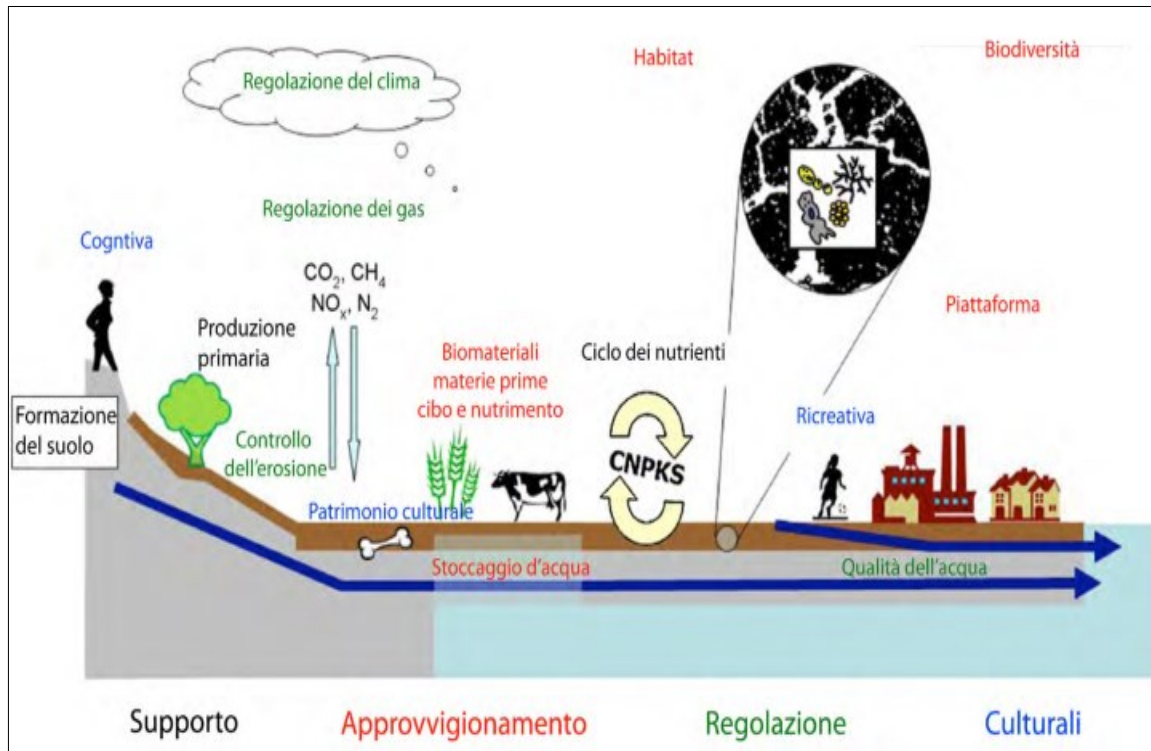


Figura 2: I servizi ecosistemici del suolo (Haygarth P.M., Ritz K., 2009)

In Tabella 1 sono elencati i più importanti servizi ecosistemici appartenenti alle quattro categorie, la cui disponibilità è riconosciuta essere base fondamentale del benessere umano (MEA, 2005).

Nel *Millennium Ecosystem Assessment*, viene riportato come essi per la maggior parte siano fortemente minacciati e con trend negativi anche per i prossimi decenni; su di essi agiscono difatti tutta una serie di pressioni antropiche strettamente correlate alle politiche messe in atto, allo sviluppo tecnologico e alle aspettative di consumo (Santolini, 2010).

Nonostante tutte queste qualità, il suolo viene percepito troppe volte solo come supporto alla produzione agricola e come base fisica sulla quale sviluppare le attività umane (Fumanti, 2009; ISPRA, 2013a).

Tabella 1: Classificazione dei servizi ecosistemici (modello adattato da MEA, 2005; De Groot, 2009; CICES, 2014)

SERVIZI ECOSISTEMICI	PROCESSO ECOSISTEMICO E/O COMPONENTE FORNITORE DEL SERVIZIO ECOSISTEMICO
Fornitura	
1. Cibo	Presenza di piante, animali commestibili
2. Acqua	Riserve d'acqua potabile
3. Fibre, combustibili, altre materie prime	Specie o materiali minerali con uso potenziale come materia prima
4. Materiali genetici: geni della resistenza ai patogeni	Specie con materiale genetico potenzialmente utile
5. Risorse biochimiche	Fibre e altri materiali ottenuti da piante, alghe e animali per uso diretto e non
6. Specie ornamentali	Specie o materiali minerali con uso ornamentale
Regolazione	
7. Regolazione qualità dell'aria	Capacità degli ecosistemi di assorbire composti chimici dall'atmosfera
8. Regolazione del clima	Influenza degli ecosistemi sul clima locale e globale
9. Mitigazione dei rischi naturali	Protezione contro i danni da eventi distruttivi (es. inondazioni)
10. Regolazione delle acque	Ruolo delle foreste da infiltrazione delle piogge e graduale rilascio delle acque
11. Assimilazione dei rifiuti	Processi di rimozione e dissoluzione di composti organici e composti chimici
12. Protezione dall'erosione	Difesa delle particelle di suolo dagli agenti atmosferici
13. Formazione e rigenerazione del suolo	Formazione e rigenerazione del suolo (pedogenesi)
14. Impollinazione	Abbondanza ed efficacia degli impollinatori
15. Controllo biologico	Controllo delle popolazioni di infestanti attraverso relazioni trofiche (predatori o competitori "utili")
Supporto	
16. Habitat	Funzionalità di aree di riproduzione, alimentazione e rifugio per specie stanziali e in migrazione
17. Conservazione della biodiversità genetica	Mantenimento di processi evolutivi e della fitness biologica (su base fenotipica e/o genetica)
Culturali	
18. Religioso e spirituale	Valori spirituali e/o simbolici
19. Estetico: valore scenico	Qualità estetica del paesaggio (es. diversità strutturale, tranquillità, ecc.)
20. Ricreativo: opportunità per turismo e attività ricreative	Attrattività del paesaggio "naturale" e delle attività all'aperto
21. Eredità culturale e identità	Importanza degli elementi storici e d'identificazione per la comunità locale
22. Educazione e scienza: opportunità per formazione ed educazione formale e informale	Caratteristiche del paesaggio, specie e vegetazioni con importanza culturale, con valore/interesse scientifico ed educativo

1.2 COPERTURA, USO E CONSUMO DEL SUOLO

Il consumo di suolo, sebbene ad oggi non ne esista una definizione univoca, può essere definito come quel fenomeno associato alla progressiva trasformazione di superfici originariamente agricole, naturali o seminaturali, mediante la realizzazione di opere infrastrutturali, strettamente correlato alle dinamiche insediative. È un processo di variazione d'uso dei suoli dovuto alla costruzione di nuovi edifici, capannoni e insediamenti, all'espansione delle città, alla densificazione o alla conversione di terreno entro un'area urbana, all'infrastrutturazione del territorio (ISPRA, 2015). Si presuppone che il ripristino delle funzionalità ambientali preesistenti sia molto difficile, se non impossibile, a causa della natura dello stravolgimento del suolo e con tempi geologici molto lunghi.

Il concetto di consumo di suolo deve quindi essere definito come una variazione da una copertura non artificiale ad una artificiale. Di conseguenza si può introdurre il concetto di copertura del suolo (**Land Cover**), con il quale si intende la copertura biofisica della superficie terrestre, comprese le superfici artificiali, le zone rurali, i boschi e le foreste, le aree seminaturali, le zone umide, i corpi idrici, come definita dalla direttiva 2007/2/CE¹. L'impermeabilizzazione del suolo costituisce la forma più palese e dannosa di copertura artificiale.

L'uso del suolo (**Land Use**) è, invece, una descrizione di come il suolo venga impiegato in relazione alle funzioni antropiche o naturalistiche. La direttiva 2007/2/CE lo definisce come una catalogazione del territorio in base alla dimensione funzionale o alla destinazione socioeconomica presente e programmata per il futuro (ad esempio ad uso residenziale, industriale, commerciale, agricolo, silvicolo, ricreativo) (ISPRA, 2015).

È importante definire il concetto di consumo di suolo netto, ovvero la differenza tra la quantità di suolo consumato e l'aumento di tutte le superfici agricole, naturali e seminaturali dovute a lunghi, energivori, rari e complessi meccanismi di rigenerazione del suolo stesso (Pileri, 2007; Commissione Europea, 2012b).

1. Direttiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 14 marzo 2007 che istituisce un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità Europea (Inspire):
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:108:0001:0014:it:pdf>



Figura 3: Esempio di consumo di suolo: area EXPO Milano 2015, prima e dopo l'intervento

1.3 EFFETTI AMBIENTALI DEL CONSUMO DI SUOLO

Il consumo di suolo, oltre a modificare i rapporti tra spazi costruiti e spazi aperti e ad incidere sulla struttura e la stessa percezione visiva del paesaggio, altera anche gli equilibri ecosistemici del territorio.

Nonostante l'importanza che specifiche politiche di mitigazione possono avere sul contenimento del consumo di suolo, si è dimostrato come qualsiasi processo di

artificializzazione delle superfici si traduca sempre in una perdita netta di suolo (Commissione Europea, 2011a).

Il consumo di suolo può avere sia effetti diretti che indiretti, basti pensare alla realizzazione di una infrastruttura stradale. Essa comporta un impatto diretto sulla qualità ambientale dei suoli interessati, con relativa perdita di biodiversità, ma anche un impatto indiretto dovuto ad una sempre più consistente frammentazione paesaggistica e territoriale.

Vengono elencati di seguito i principali effetti che un suolo consumato comporta:

- **Effetti sul ciclo del carbonio:**

Il suolo costituisce la più grande riserva di carbonio organico esistente e gioca pertanto un ruolo chiave nel ciclo del carbonio. Su scala globale, la quantità di carbonio contenuta nei suoli si suppone superiore a quella contenuta sia in atmosfera (760 miliardi) che nella vegetazione (560 miliardi) messe insieme e con una capacità stimata di cattura annuale pari al 20% delle emissioni antropiche di CO₂ (Brenna, ERSAF, 2012).

L'enorme quantità di carbonio contenuta nei suoli è dunque una potenziale sorgente di CO₂ che, se rimessa in atmosfera, può dare un contributo decisivo alle emissioni totali di gas serra. Di conseguenza, risultano necessarie e fondamentali delle politiche di conservazione, mitigazione e gestione sostenibile dei suoli, nell'ottica del *Global Warming*.

- **Effetti sul ciclo dell'acqua e sul clima locale:**

L'impermeabilizzazione dei suoli può tradursi in cambiamenti negli equilibri a livello di bacino idrografico.

Si stima che un suolo in media sia capace di trattenere all'incirca 400-600 litri per metro quadrato, ma bisogna però tenere in considerazione che esistono fattori in grado di influenzare la capacità di immagazzinare H₂O come ad esempio la struttura, la tessitura, la granulometria, il contenuto di sostanza organica, ecc. L'impermeabilizzazione riduce la quantità di acqua piovana che il suolo può assorbire, in molti casi annullandola del tutto.

I tre principali impatti sul ciclo dell'H₂O sono dovuti: alla riduzione del tasso di infiltrazione sia negli strati superficiali che in profondità; all'aumento dello scorrimento superficiale, con un potenziale incremento dei rischi di inondazione e di inquinamento dei fiumi; alla minore evapotraspirazione, con conseguente

perdita dell'effetto di raffrescamento e mitigazione del microclima nelle aree urbanizzate.

L'impermeabilizzazione del suolo e la perdita di vegetazione sono fattori che giocano un ruolo significativo nella generazione delle *onde di calore* nelle aree urbane e periurbane.

- **Effetti sulla biodiversità:**

Il suolo funge da supporto per tutti gli esseri viventi che vivono sopra di esso e, allo stesso tempo, fornisce l'habitat per almeno il 25% di tutte le specie esistenti sulla Terra.

Gli organismi del suolo sono fondamentali nella decomposizione e trasformazione dei residui vegetali e animali e per il ciclo dei nutrienti, rappresentando un'importante riserva genetica. Essi sono inoltre in grado di contrastare e inibire molte sostanze inquinanti.

Il consumo di suolo distrugge e frammenta la struttura degli habitat, privando i microorganismi di H₂O, O₂, energia, ed introducendovi sostanze esogene ed inquinanti, danneggia le loro funzionalità.

- **Effetti sulla produzione di cibo:**

Il consumo di suolo agricolo, naturale e seminaturale si traduce in una perdita netta di produttività potenziale, indebolendo il settore agricolo dalla piccola alla grande scala, in quanto aumenta la dipendenza dall'esterno per alimenti e foraggi. Ai tassi attuali di crescita dell'urbanizzato, in Lombardia viene perduta ogni anno una capacità potenziale di produzione di cibo pari a circa 27.000 tonnellate di grano (Brenna, ERSAF, 2012).

1.4 LE MINACCE

Il suolo subisce una serie di processi di degrado ed è sottoposto a diverse tipologie di minacce (Commissione Europea, 2006; 2012a; Pileri, 2015):

- **Erosione**, ovvero la rimozione di particelle di suolo ad opera di agenti atmosferici (vento, acqua, ghiaccio) o per effetto di movimenti gravitativi o di organismi viventi (bio-erosione). Si stima che 24 miliardi di tonnellate di suoli fertili ogni anno, nel

mondo, scompaiono. In questo modo diminuisce la sua difesa dagli agenti atmosferici e le sue funzionalità si degradano, rendendolo più vulnerabile.

- **Diminuzione di materia organica**, cioè il contenuto di carbonio nel suolo. La cause di questa minaccia, prevalentemente antropiche, sono ad esempio: le deforestazioni, le trasformazioni di prati in aree agricole, l'erosione, gli incendi, ecc.
- **Contaminazione locale o diffusa**, è tra le minacce più insidiose sia perché può protrarsi negli anni, sia perché i processi di bonifica non sono sempre efficaci compromettendone le caratteristiche. Inoltre non tutti i suoli mostrano buone capacità resilienti.
- **Impermeabilizzazione**, ovvero la copertura permanente di parte del terreno e del relativo suolo con materiale artificiale non permeabile.
- **Compattazione**, causata da eccessive pressioni meccaniche, conseguenti all'utilizzo di macchinari pesanti o al sovra-pascolamento. La compattazione è strettamente legata all'impermeabilizzazione, con la sostanziale differenza che la prima è reversibile, mentre la seconda no.
- **Perdita della biodiversità**, causata ad esempio dalla contaminazione di un suolo con sostanze tossiche anche solo per una o qualcuna delle specie viventi può spezzare le catene ecosistemiche alterando gli equilibri.
- **Salinizzazione**, l'accumulo di sali solubili nel suolo inibisce fortemente alcuni meccanismi metabolici nel suolo danneggiando spesso irreversibilmente il suo ecosistema.
- **Frane e alluvioni**, amplificate dall'incapacità di trattenuta delle acque meteoriche di una sempre maggior quantità di suoli impermeabilizzati.
- **Desertificazione**, ovvero la graduale trasformazione in aree aride a causa di un incontrollato sfruttamento dell'humus per fini agricoli.

1.5 L'IMPERMEABILIZZAZIONE DEL SUOLO: LIMITAZIONE, MITIGAZIONE E COMPENSAZIONE

L'impermeabilizzazione rappresenta la principale causa di degrado del suolo in Europa (Antrop, 2004; Pileri e Granata, 2012). È presumibilmente l'uso più distruttivo che

si può fare alla risorsa suolo poiché ne determina la perdita totale e soprattutto permanente delle principali funzioni produttive (APAT, 2008; Gardi et al., 2013).

Per tali ragioni, deve essere intesa come un costo ambientale, risultato di una diffusione indiscriminata delle tipologie artificiali di uso del suolo che porta al degrado delle funzioni ecosistemiche e all'alterazione dell'equilibrio ecologico (Scalenghe e Ajmone Marsan, 2009; Commissione Europea, 2011a).

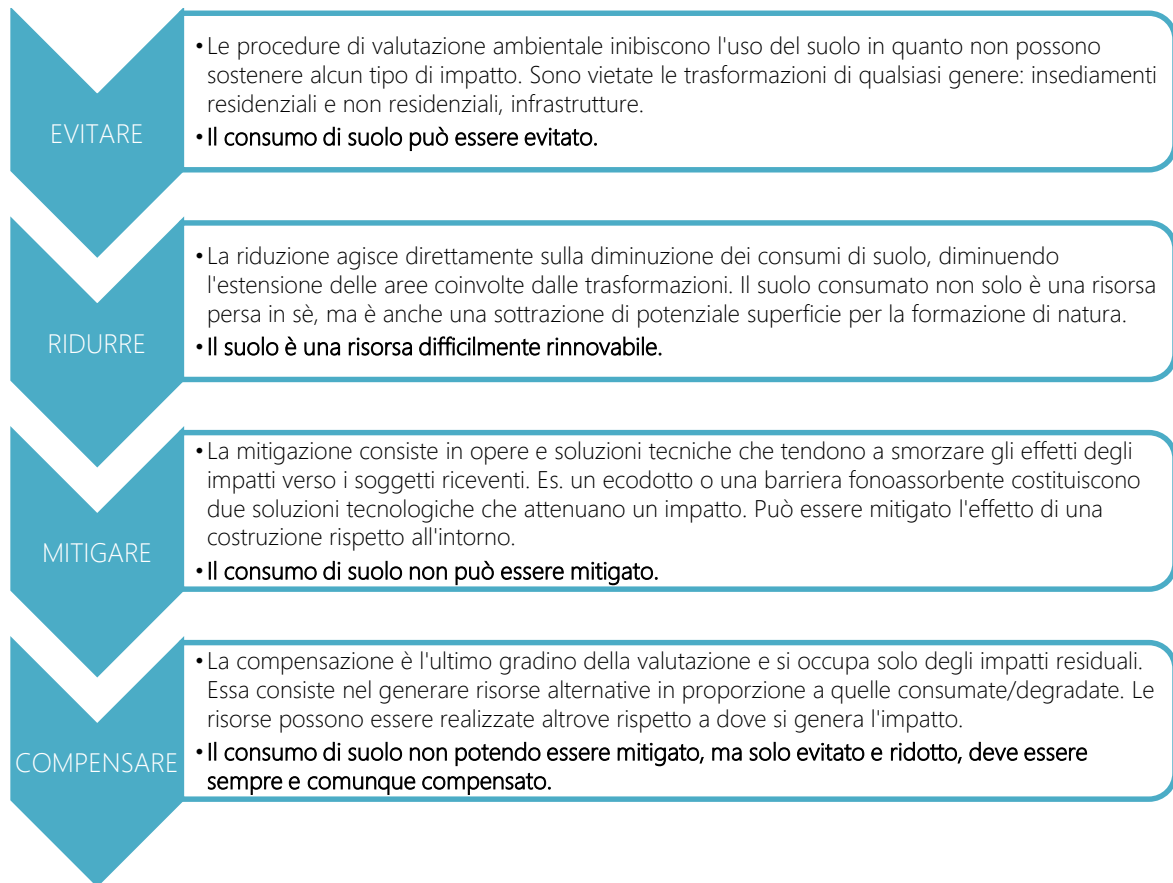
Limitare l'impermeabilizzazione del suolo significa impedire la conversione di aree verdi in coperture artificiali. Andrebbero, per tal motivo, promosse tutte quelle attività volte al riutilizzo di aree già costruite come ad esempio i siti industriali dismessi. Occorre quindi puntare sul patrimonio edilizio disponibile, incoraggiare il riuso dei suoli già intaccati, proteggere tutte le aree non edificate e non impermeabilizzate, non solo quelle agricole. In diversi Paesi europei la creazione di incentivi all'affitto di case non occupate ha altresì contribuito a limitare questa problematica (Commissione Europea, 2012b; ISPRA, 2015).

Quando è prevista un'impermeabilizzazione, si dovrebbero adottare efficaci ed incisive misure di mitigazione atte a ridurre gli effetti negativi diretti o indiretti significativi sull'ambiente e sul benessere umano. Queste misure dovrebbero comprendere la valutazione e il rispetto della qualità del suolo nei processi di pianificazione, preservando quelli di elevata qualità (Commissione Europea, 2012b).

Se le misure di mitigazione adottate risultano essere non sufficienti, dovrebbero essere prese in attenta valutazione possibili misure di compensazione ecologica, considerando però che è impossibile compensare completamente gli effetti dell'impermeabilizzazione (Pileri, 2007). In alcuni casi risulta concepibile ripristinare le funzionalità naturali altrove qualora non lo fosse possibile in loco.

Una possibilità è rappresentata dal versamento di una tassa dipendente dalla qualità del suolo consumato e dalla superficie impermeabilizzata. Questa potrebbe essere considerata una modalità per limitare l'impermeabilizzazione piuttosto che compensarla, tuttavia non è realistico pensare che le tasse possano essere talmente alte da scoraggiare del tutto l'occupazione di terreno (Commissione Europea, 2012b).

Un esempio di compensazione è rappresentato dalla **compensazione ecologica preventiva**. In seguito viene riportata la “catena del valore” (tratto da una lezione del Prof. Pileri, Politecnico di Milano, 2014):



1.6 LA DEFINIZIONE DI SUOLO IN ITALIA

Per 25 anni la definizione di suolo secondo la legge 183/89 (poi confluita nel Testo Unico Ambientale del 2006) è stata la seguente:

Suolo: il territorio, il suolo, il sottosuolo, gli abitanti e le opere infrastrutturali.

Legge 183/89

Sicuramente una definizione che non gli rende giustizia.

Nel marzo 2014 la definizione è stata modificata nella seguente:

Il suolo è lo strato più superficiale della crosta terrestre situato tra il substrato roccioso e la superficie. Il suolo è costituito da componenti minerali, materia organica, acqua, aria e organismi viventi.

D.lgs. 46/2014 art. 1

Una definizione più completa della precedente, ma ancora lontana dal riconoscere il suolo come più di uno strato.

In effetti una definizione corretta è già disponibile dal 2006 grazie alla Strategia Tematica Europea per la Protezione del Suolo, che lo definisce come:

Lo strato superiore della crosta terrestre costituito da componenti minerali, organici, acqua, aria e organismi viventi. Rappresenta l'interfaccia tra terra, aria e acqua e ospita gran parte della biosfera. Visti i tempi estremamente lunghi di formazione del suolo, si può ritenere che esso sia una risorsa sostanzialmente non rinnovabile. Il suolo ci fornisce cibo, biomassa e materie prime; funge da piattaforma per lo svolgimento delle attività umane; è un elemento del paesaggio e del patrimonio culturale e svolge un ruolo fondamentale come habitat e pool genico. Nel suolo vengono stoccate, filtrate e trasformate molte sostanze, tra le quali l'acqua, i nutrienti e il carbonio [...]. Per l'importanza che rivestono sotto il profilo socioeconomico e ambientale, tutte queste funzioni devono pertanto essere tutelate.

Strategia Tematica Europea per la Protezione del Suolo, 2006

Definizione politicamente corretta e scientificamente condivisa a livello europeo, nello stesso anno in cui in Italia si approvava il Testo Unico Ambientale che contiene la definizione scorretta (Pileri, 2015; ISPRA, 2015).

2

DUE FORME DI URBANIZZAZIONE: SPRAWL & SPRINKLING

Il termine *urbanizzazione* può essere associato a fenomeni di crescita e concentrazione della popolazione, estensione dello spazio urbano e conseguente trasformazione di uno spazio rurale, naturale o seminaturale.

Le diverse forme di urbanizzazione sono uno dei fattori determinanti della sostenibilità ambientale e della resilienza urbana, cioè della capacità di adattamento alle diverse pressioni antropiche sul territorio, poiché determinano le strutture con le quali si organizzano le funzionalità all'interno delle città stesse, in termini di accessibilità dei servizi urbani e di capacità di trasformazione e di adattamento alle diverse domande sociali e ai cambiamenti ambientali prodotti.

A questo punto diventa di fondamentale importanza approfondire la conoscenza delle diverse forme di urbanizzazione, diffusa (*sprawl*) e dispersa (*sprinkling*), sia per la definizione di misure efficaci per la limitazione del consumo di suolo e per frenare la frammentazione, se non addirittura distruzione, del paesaggio, sia, in maniera più generale, per dare una maggiore incisività alle politiche e azioni per il perseguimento della sostenibilità ambientale.

2.1 URBAN SPRAWL

Lo *sprawl* viene in genere interpretato come espressione di quel *sogno americano* che vede l'ideale di una vita realizzarsi in una casa singola, spaziosa e accogliente, in un contesto libero da ogni segno di povertà e degrado (Benfield F.K., Raimi M.D., Chen D.T., 1999). Questa visione promette elevati standard di vita, ma allo stesso tempo porta con sé numerosi problemi che spesso non vengono considerati dagli abitanti.

Non esiste una chiara, singola e sintetica definizione di *sprawl* che sia condivisa da tutti, anche perché l'idea di cosa costituisca *sprawl* è cambiata nei vari decenni. Il concetto entrò all'interno della letteratura di urbanisti e pianificatori negli anni '60 circa.



Figura 4: Esempio di urban sprawl a Calgary, Alberta, Canada

Lo *sprawl* può essere generalmente definito come un modello di crescita urbana che si espande in modo illimitato e discontinuo verso l'esterno. In termini di tipologia di sfruttamento del suolo, lo *sprawl* include sia sviluppi residenziali (per esempio, villette

unifamiliari) che non residenziali (come i centri commerciali, le zone industriali, gli uffici, le scuole ed altri edifici pubblici). Questi diversi tipi di utilizzo del suolo sono per la maggior parte spazialmente separati l'uno dall'altro.

Una caratteristica dello *sprawl*, problematica dal punto di vista ambientale, è il consumo di terreno rurale, agevolato a volte dal minor costo. Inoltre presenta anche meno vincoli pianificatori rispetto ai terreni dei centri urbani.

Le numerose definizioni esistenti di cosa rappresenti lo *sprawl* non sono molto precise causando a volte malintesi e diverse interpretazioni. Siedentop nel 2005 le suddivide in cinque gruppi:

1. **Definizioni basate su attributi di densità di un insediamento:** lo *sprawl* viene correlato a basse densità, densità decrescenti, o decomposizione funzionale della città. Forniscono definizioni di *sprawl* di questo tipo diversi studiosi (Glaeser e Kahn, 2003), (Fulton et al., 2001).
2. **Definizioni che hanno a che fare con processi di concentrazione delle funzioni urbane e con l'espansione spaziale in aree rurali.** Alcuni esponenti sono Glaeser et al. (2003), Pumain (2003).
3. **Definizioni che si rifanno a forma, struttura e attributi di un insediamento:** lo *sprawl* è un processo che trasforma una struttura monocentrica e compatta in una policentrica e dispersa (Galster et al. 2001; Torrens, Alberti 2000).
4. **Definizioni basate su effetti socialmente rilevanti dell'uso del suolo,** come il traffico, la perdita di suoli fertili, ecc. (Ewing, 1997; Downs, 1999).
5. **Definizioni basate sulla pianificazione normativa:** uno sviluppo non pianificato che contrasta gli obiettivi di uno sviluppo spaziale sostenibile è *sprawl* (Gassner, 1978).

Lo *sprawl* viene spesso definito come un fenomeno multidimensionale.

Longley et al. (2002) provano ad identificare alcune delle dimensioni che ritengono fondamentali per poter parlare di *sprawl*:

- **Forma:** lo *sprawl* non sarebbe legato ad una specifica forma urbana, ma presenterebbe uno sviluppo compatto o dispersivo, con una crescita urbana contigua lungo elementi lineari (Ewing, 1994; Pendall, 1999).

- **Uso del suolo:** il Transportation Research Board (1998) associa allo *sprawl* caratteristiche come bassa densità residenziale, abitazioni unifamiliari uniformi e sparpagliate, segregazione degli usi del suolo non residenziali (centri commerciali ecc.).
- **Impatti:** secondo Ewing (1994) e Johnson (2001) lo *sprawl* comporta scarsa accessibilità dei diversi usi del suolo e mancanza di spazio urbano funzionale. In pratica definiscono lo *sprawl* in base ai costi che esso comporta.
- **Densità:** l'*urban sprawl* è associato a sviluppo urbano a bassa densità (definita anche come intensità di uso del suolo); la concezione di bassa densità è però relativa (Longley et al. 2002).

I modi di definire l'*urban sprawl* sopra riportati sono molteplici e, ponendo l'enfasi su aspetti diversi, rischiano di generare confusione. Franz nel 2006 puntualizza come il termine *sprawl* sia talmente vasto da lasciare molto spazio all'interpretazione e da essere utilizzato con diverse accezioni sia in contesti scientifici, sia in discussioni di carattere politico. Sottolinea, inoltre, come spesso vengano confuse cause, conseguenze e caratteristiche del fenomeno.

Alla luce di queste considerazioni è praticamente impossibile dare una definizione univoca di *sprawl* che sia globalmente condivisa. Ewing (1994; 1997) suggerisce cinque caratteristiche predominanti dell'*urban sprawl*:

1. **Sviluppo sparpagliato e discontinuo**, che lascia spazi non utilizzati tra le aree edificate (le aree edificate separate dal tessuto urbano principale vengono chiamate "*leapfrog areas*");
2. **Sviluppo di aree residenziali a bassa densità**, che conduce ad un'espansione estensiva di singole unità abitative con giardino privato e comporta la mancanza di spazi pubblici aperti;
3. **Sviluppo lineare delle aree commerciali** lungo i principali assi di trasporto;
4. **Segregazione degli usi del suolo:** separa l'uso residenziale dagli altri, rompendo le relazioni che intercorrono tra di essi;
5. **Bassa accessibilità con limitata scelta degli itinerari percorribili** e alta dipendenza da veicoli privati, principalmente a causa della segregazione degli usi del suolo.

La mobilità degli abitanti dello *sprawl* si regge sostanzialmente sull'utilizzo dell'automobile privata, utilizzata costantemente per il raggiungimento di aree limitrofe, con tutte le relative problematiche sulla sostenibilità ambientale. Dato che lo *sprawl* è caratterizzato da insediamenti a bassa densità abitativa, un sistema di trasporto pubblico diventa una possibilità difficile, se non addirittura impossibile, da pianificare e da gestire perché eccessivamente costoso. Gli operatori del trasporto pubblico, a maggior ragione se privati, necessitano infatti di una certa densità affinché sia loro possibile ottenere un profitto economico.

Una recente definizione di *urban sprawl* è quella proposta da Jaeger et al. (2010), i quali ritengono che:

L'urban sprawl è visivamente percettibile. Un paesaggio è sottoposto ad urban sprawl se è permeato da sviluppo urbano o edifici solitari. Per una data quantità totale di area edificata, il grado di urban sprawl dipende da quanto sono fortemente raggruppate o disperse le patch di area urbanizzata; il più basso grado di sprawl corrisponde alla situazione per cui tutta l'area urbanizzata sia raggruppata insieme all'interno di un cerchio. Il più alto grado di sprawl si assume essere quello in un'area completamente costruita. Pertanto, maggiore è l'area urbanizzata presente in un paesaggio e maggiormente disperse sono le patch, più alto risulta il grado di urban sprawl.

Jaeger et al., 2010

Quanto detto con questa dichiarazione può essere più facilmente compreso riportando la seguente illustrazione, nella quale sono presentate le peculiarità principali dello *sprawl*.

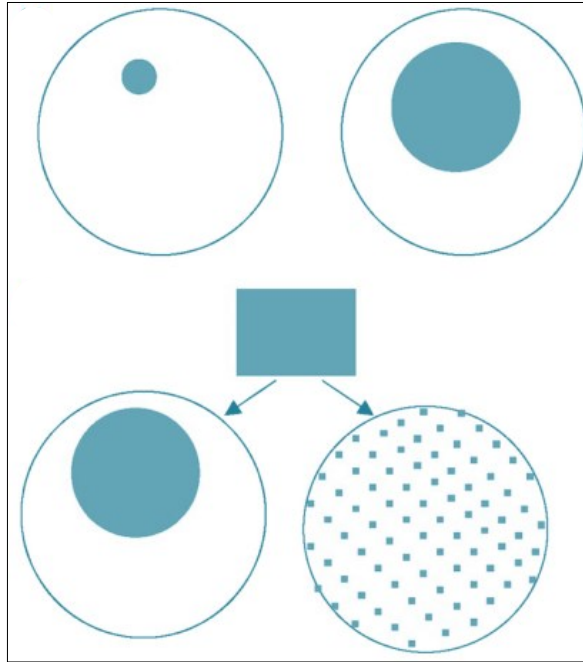


Figura 5: Rappresentazione visiva dell'urban sprawl (Jaeger et al., 2010)

2.2 RICADUTE DELLO SPRAWL

Non è di per sé lo *sprawl* a essere qualcosa di non desiderabile, ma sono bensì gli impatti negativi ad esso strettamente associati a esserlo (Ewing, 1994).

Una delle analisi più rilevanti in merito ai costi dello *sprawl* è quella sostenuta da RERC (*Real Estate Research Corporation*) nel 1974. La ricerca individuò quattro categorie di impatti:

- Costi di gestione e impatto sul capitale sia pubblico che privato;
- Costi per i trasporti;
- Effetti sulla conservazione degli habitat naturali e sulla preservazione dei suoli;
- Effetti sulla qualità della vita.

I ricercatori giunsero pertanto a concludere come lo *sprawl* sia la forma di insediamento residenziale più costosa, sia in termini di costi pubblici, che di costi ambientali e sociali rispetto a forme urbane più compatte.

Numerosi studi più recenti hanno dimostrato come lo *sprawl* sia un fenomeno che porta alle seguenti, negative, conseguenze ambientali (Pileri, 2015):

1. Un elevato consumo di suolo, principalmente rurale (Bengston, 2004);
2. Un incremento dell'uso delle automobili private e quindi traffico, congestione, incidentalità, spesa energetica e innalzamento dell'inquinamento dell'aria (Yang, 2002);
3. Frammentazione, compromissione di habitat e perdita di biodiversità (Price, 2006);
4. Incremento della segregazione sociale, economica e razziale (Power, 2001);
5. Diminuzione del grado di interazione sociale;
6. Innalzamento della spesa pubblica per costo delle reti e infrastrutture (Burchell, 2002; Deal e Schunk, 2004; Siedentop, 2006);
7. Diminuzione del livello dei servizi pubblici (Siedentop, 2005);
8. Maggior consumo di suolo, degrado del terreno e inquinamento delle acque (Haase e Nuissl, 2007);
9. Peggioramento della salute dei cittadini (Wells, 2007);
10. Frammentazione della governance territoriale e incremento delle disuguaglianze fiscali e regolative (Burchell, 1998).

2.3 COME VALUTARE L'URBANIZZAZIONE

Negli ultimi decenni il modello spaziale dell'*urban sprawl* è stato oggetto di numerose ricerche. L'approccio più diffuso prevede, inizialmente, l'elaborazione di una cartografia tematica (di uso e/o copertura del suolo), derivante da fotointerpretazione di immagini aeree e/o da satellite. Inoltre, la definizione dell'area oggetto di studio rappresenta un aspetto fondamentale da considerare (Lelli, Pezzi, 2012).

Alle informazioni spaziali georiferite, gestite all'interno di un GIS (*Geographic Information System*), vengono applicati indici impiegati nella *landscape ecology* (*landscape metrics*) per quantificare caratteri di composizione e configurazione dei territori. L'utilizzo di queste metriche consente di misurare aspetti spaziali dell'*urban sprawl*, traducendo in informazioni numeriche alcuni aspetti qualitativi del fenomeno; anche sulla base di questi è possibile definire delle strategie pianificatorie sostenibili.

A seguire viene proposta la Tabella 2 che riassume i principali indicatori spaziali di *sprawl* utilizzati in letteratura, suddivisi in due categorie di zone (urbanizzate e non

urbanizzate) per la cui misura sono stati selezionati specifici indici tratti da casi studio relativi allo *sprawl* e da studi di frammentazione ambientale, oppure selezionati tra le metriche largamente utilizzate in ecologia del paesaggio.

Tabella 2: Indicatori e indici per le analisi spaziali dell'urban *sprawl* (Lelli C., Pezzi G., 2012)

OGGETTI DI STUDIO		INDICATORE	INDICE	FONTI
Zone urbanizzate	Risultante	Estensione urbana	Percentage of landscape (PLAN)	Sudhira, 2004
			Largest patch index (LPI)	McGarigal et al., 2002; Hai & Yamaguchi, 2008; Ji, 2008
		Centralità	Centrality (CENTRALITY)	Huang, 2007
		Complessità della forma	Fractal dimension (FRAC)	Torrens & Alberti, 2000; McGarigal et al., 2002
			Compactness index of the largest patch (CILP)	Li & Yeh, 2004; Huang, 2007
			Shape index (SHAPE)	McGarigal et al., 2002;
			Linearity (LINEAR)	McGarigal et al., 2002;
		Dispersione	Related circumscribing circle (CIRCLE)	McGarigal et al., 2002;
			Shannon's entropy (Hi)	Li & Yeh, 2004; Sudhira, 2004; Bhatta et al., 2010; Verzosa & Gonzalez, 2010
			Relative entropy (H'i)	Bhatta, 2010
Somma dei componenti	Integrazione e prossimità	Ratio of open space (ROS)	Huang, 2007	
		Interspersion and juxtaposition (JI)	Torrens & Alberti, 2000	
Zone non urbanizzate	Risultante	Frammentazione	Number of patches (NP)	Herold et al., 2003; Hai & Yamaguchi, 2008; Ji, 2008
			Patch density (PD)	Eiden et al., 2000; Ji, 2008
			Edge density (ED)	Eiden et al., 2000; Herold et al., 2003; Hai & Yamaguchi, 2008
			Mean patch size (MPS)	Torrens & Alberti, 2000
			Division (DIVISION)	Jaeger, 2000; McGarigal et al., 2002
			Effective mesh size (Meff)	Jaeger, 2000; McGarigal et al., 2002
			Density of roads (L)	EEA, 2011
			Urban fragmentation index (UFI)	Romano, 2002
			Infrastructural fragmentation index (IFI)	Romano, 2002
			Somma dei componenti	Eterogeneità ambientale
Shannon's diversity index (SHDI)	Eiden et al., 2000; Torrens & Alberti, 2000; McGarigal et al., 2002			
Number of classes (NC)	Eiden et al., 2000; McGarigal et al., 2002			
Evenness (Es)	Torrens & Alberti, 2000; McGarigal et al., 2002			

Sono indicatori di *sprawl*:

- L'estensione urbana;
- La decentralizzazione dei sistemi urbani;
- La complessità della forma delle zone edificate;
- La dispersione insediativa e il grado di integrazione di diversi usi/coperture del suolo (aspetti spaziali delle zone urbanizzate);

- La frammentazione del territorio e la riduzione di eterogeneità ambientale (aspetti spaziali delle zone non urbanizzate).

Per Jaeger et al. (2010) la definizione dell'*urban sprawl* per mezzo di indicatori deve soddisfare tredici criteri di adattabilità. Questi sono utili per valutare la consistenza e l'affidabilità delle metriche per lo *sprawl* esistenti e anche future:

1. **Interpretazione intuitiva:** le metriche spaziali devono essere il più possibile intuitive. È indispensabile per una interpretazione e comunicazione convincente dei risultati e per un confronto con altre metriche.
2. **Semplicità matematica:** rilevante per la comprensibilità ed implementazione, e di conseguenza, per una sua diffusione ed uso pratico.
3. **Necessità di un modesto numero di dati:** tutte le informazioni possibili devono essere catturate all'interno della misura altrimenti non può produrre risultati validi.
4. **Bassa sensibilità per patch di urbanizzato molto piccole:** la misura non deve essere troppo sensibile se piccole patch di urbanizzato (per esempio, singoli edifici) sono omesse oppure incluse nell'analisi.
5. **Reazione monotona all'incremento di area urbanizzata:** la misura dello *sprawl* dovrebbe sempre aumentare quando nuove patch di urbanizzato si aggiungono, oppure se quelle esistenti si allargano.
6. **Reazione monotona all'incremento della distanza tra due patch di urbanizzato:** quando la distanza tra due patch aumenta, mentre la quantità di area urbanizzata rimane costante, la misura deve aumentare.
7. **Reazione monotona all'incremento della diffusione di tre patch:** quando un'area urbana è scomposta in più patch ed esse sono distribuite in una maniera più dispersa, mentre la quantità di area urbana rimane costante, allora la misura dovrebbe aumentare sempre (Figura 6).
8. **Stessa direzione del responso metrico al processo nei criteri 5, 6 e 7:** la reazione della misura al processo dei criteri 5, 6 e 7 deve essere nella stessa direzione (sempre crescente) per garantire che nessuno di questi processi possa essere in qualche modo compensato da un altro.

9. **Reazione continua alla fusione di due patch:** quando due patch si stanno unendo, mentre la quantità totale di area urbana rimane costante, il decremento della misura deve essere continua (ovvero, senza salti).
10. **Indipendenza della metrica dalla posizione del modello delle patch all'interno della scala spaziale:** l'*urban sprawl* è una funzione della dispersione e della quantità di area urbanizzata e, di conseguenza, non deve differire se l'intero modello si muove nella struttura spaziale.
11. **Reazione continua all'aumento della distanza tra due patch quando si muovono oltre la scala di analisi:** quando la distanza tra due patch è più grande della scala di analisi, la loro distanza non dovrebbe influenzare il valore della metrica.
12. **Omogeneità matematica (ovvero, misura intensiva o estensiva):** essere *intensiva* significa rimanere costante quando la regione analizzata è in fase di ampliamento, ma tenendo la stessa configurazione spaziale. Se la misura aumenta dello stesso fattore col quale la regione è moltiplicata, essa viene chiamata *estensiva*.
13. **Additività:** essere *additivo* significa che il valore per la combinazione di due o più unità di progetto è uguale alla somma dei valori delle singole unità di progetto.

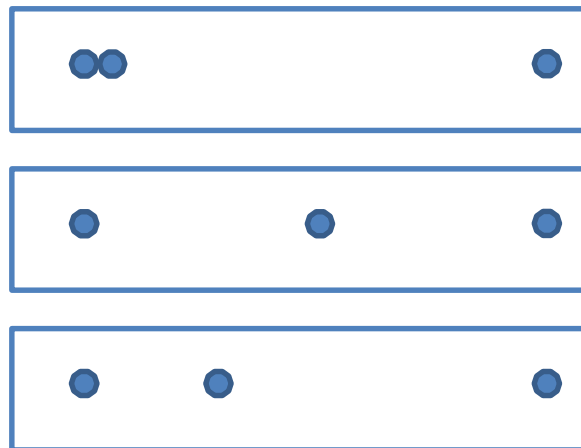


Figura 6: Illustrazione del criterio 7 con una configurazione lineare. Le due patch esterne sono fisse, solo quella al centro può muoversi verso sinistra o destra

Allo scopo di definire un metodo omogeneo, si propone in questo elaborato di Tesi un set di indici per la misura di indicatori spaziali del fenomeno (Rif. Paragrafo 3.4). Essi

sono riferiti alla dimensione e ai caratteri spaziali dello *sprawl*, e allo stesso tempo presentano elementi di novità per l'approccio metodologico adottato.

2.4 SPRINKLING: UNA FORMA DI DISPERSIONE ITALIANA

Come riportato precedentemente, nel caso dello *sprawl* una parte consistente del margine urbano viene strappata dalla destinazione d'uso del suolo originaria, a causa della trasformazione degli spazi aperti, compromettendo tanto la produttività agricola quanto le caratteristiche naturali originarie.

Grazie alla letteratura scientifica e divulgativa si può notare come in molti Paesi del mondo, le forme dell'organizzazione e diffusione urbana portano all'utilizzo del termine *urban sprawl* (Gibelli e Salzano, 2006). I modelli italiani presentano differenze non trascurabili con quelli di altri Paesi, il che conduce ad una riflessione secondo la quale, se in tutto il mondo si parla di *sprawl*, in Italia e in alcuni altri Paesi dell'area balcanica e della penisola iberica, sarebbe più giusto parlare di *sprinkling* (Figura 7):

Lo sprinkling, nella condizione in cui si manifesta oggi, sia nella sua fisionomia estesa che lineare, è probabilmente una conformazione non compattabile, unicamente frenabile, forse recuperabile con il disegno di alcune sezioni urbane densificate che possano fare da elementi di coagulo per i servizi principali, migliorando le condizioni di "massa critica" per questi necessarie. In tali settori, che comunque richiedono una pianificazione accurata, dovrebbe essere possibile anche ospitare le eventuali espansioni di costruito derivanti dalle normali esigenze incrementali, però nell'ambito di tessuti a loro volta "disegnati" nei quali sia privilegiata/incentivata la rioccupazione di sezioni di territorio già usate in precedenza. In altre parole, quando il riutilizzo di sedimi pre-urbanizzati dovesse risultare molto difficile da attuare, che almeno si persegua un obiettivo minimo dove le nuove parti di suolo impegnato lo siano in forma aggregata e progettata.

Romano et al., 2015

Secondo il dizionario Merriam-Webster lo *sprawl* esprime: “*the spreading of urban developments (as houses and shopping centers) on undeveloped land near a city*”, invece lo *sprinkling* corrisponde a: “*a small quantity falling in scattered drops or particles*”.

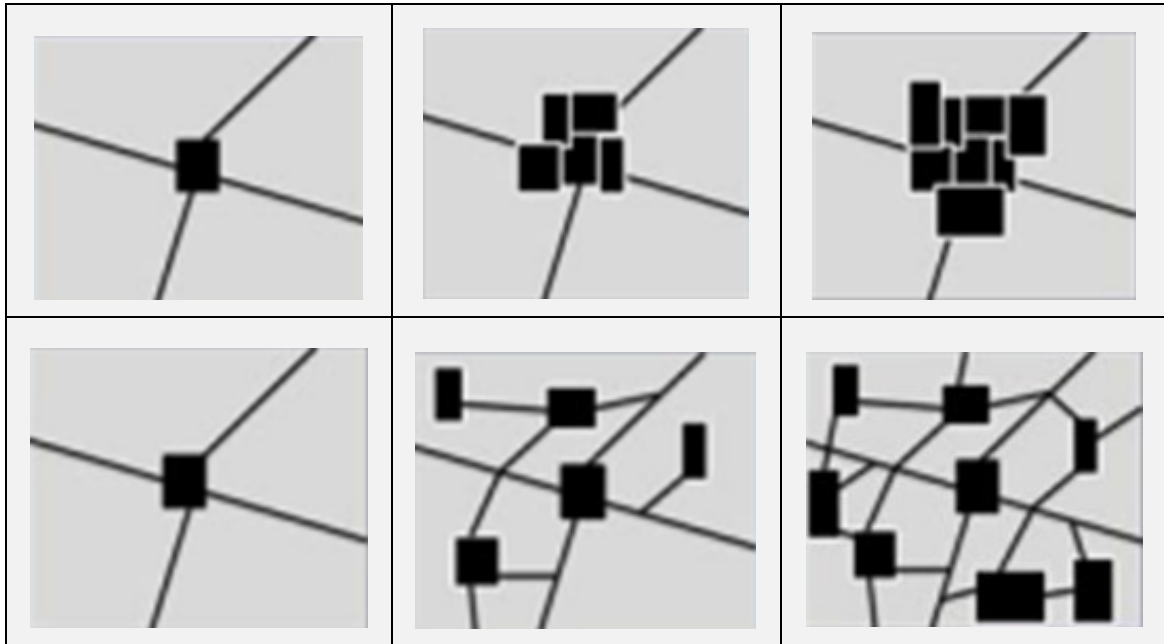


Figura 7: Evoluzione urbana in tre istanti temporali successivi. Sopra: in continuità di aggregato (*urban sprawl*), sotto: di tipo metastatico (*sprinkling*), tipica in Italia (Romano et al., 2011)

Gli schemi riportati nella Tabella 3 mostrano le differenze che intercorrono tra i vari pattern: lo standard internazionale dello *sprawl*, contraddistinto da vaste aree in adiacenza con unità edilizie mono-bifamiliari, o anche a schiera, è stato relativamente poco praticato dall'urbanistica italiana degli ultimi decenni, anche per ragioni legate alla morfologia e alle dimensioni geografiche del nostro Paese.

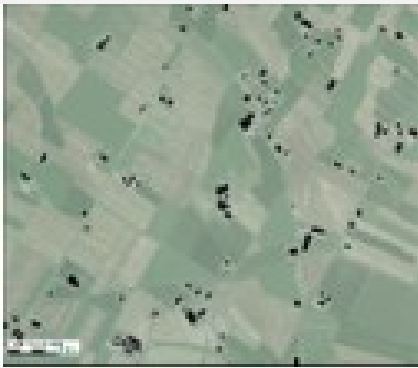
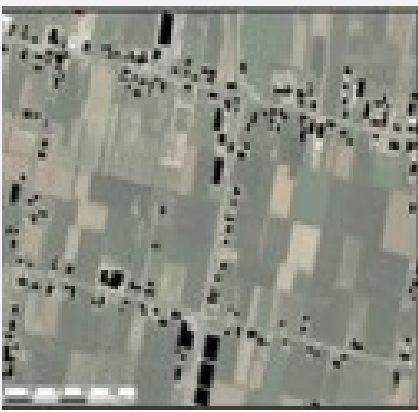
I risultati di questa diffusione anarchica sono stati solamente in parte sostenuti dai piani urbanistici. Nella seconda metà del secolo scorso un esempio di *sprawl* italiano si riconosce lungo la costa adriatica (Sargolini, 2010), con un avanzamento medio di circa 10 km all'anno di lungomare urbanizzato (Romano e Zullo, 2014), derivante da lottizzazioni progettate, quasi sempre multifamiliari e sganciate da un'analogica e contemporanea pianificazione dei servizi pubblici.

I parametri urbanistici territoriali medi che distinguono lo *sprawl* sono una densità edilizia di 5-6 edifici/ha, un rapporto di copertura del 10-12% e una densità residenziale di 20-25 abitanti/ha (Romano e Zullo, 2014b).

L'insediamento urbano disperso e polverizzato, definito *sprinkling*, appartiene ad una categoria diversa e si differenzia molto dallo standard internazionale dello *sprawl*, sia per ciò che riguarda l'urbanistica che per l'utilizzo del suolo, comportando un elevato dispendio energetico. I parametri urbanistici territoriali medi che lo caratterizzano assumono valori molto più bassi: densità edilizie minori di 1 edificio/ha, rapporti di copertura compresi tra l'1 e il 4% e densità residenziali al più pari a 2 abitanti/ha (Romano e Zullo, 2014b).

Tabella 3: Schemi tipologici nazionali e internazionali dello *sprawl* e dello *sprinkling* (Romano et al., 2015)

	<p>SPRAWL (STANDARD INTERNAZIONALE)</p> <p>Impianto urbano progettato mediante dispositivi di lottizzazione, con unità prevalentemente mono-bifamiliari.</p> <p>Interventi coordinati di realizzazione degli spazi e dei servizi collettivi, spesso anche nelle architetture degli edifici. Tessuti urbani omogenei per uso.</p>	<p>PARAMETRI URBANISTICI TERRITORIALI MEDI</p> <ul style="list-style-type: none"> • Densità edilizia: 6 ed/ha (tra 10 e 20 ed/ha di densità edilizia fondiaria). • Densità residenziale: 20-25 ab/ha • Rapporto di copertura: 10-12%
	<p>SPRAWL (MODELLO COSTIERO ITALIANO)</p> <p>Impianto urbano progettato mediante dispositivi di lottizzazione, con unità prevalentemente plurifamiliari.</p> <p>Tessuti urbani omogenei per uso.</p>	<p>PARAMETRI URBANISTICI TERRITORIALI MEDI</p> <ul style="list-style-type: none"> • Densità edilizia: 12 ed/ab • Densità residenziale: 120-150 ab/ha • Rapporto di copertura: 25-30%

	<p>SPRINKLING (MODELLO ESTESO ITALIANO)</p> <p>Insedimento a sviluppo spontaneo, additivo su matrice storica, con unità residenziali prevalentemente unifamiliari.</p> <p>Tessuti urbani disomogenei, con commistione di funzioni rurali, residenziali, industriali, terziarie.</p>	<p>PARAMETRI URBANISTICI TERRITORIALI MEDI</p> <ul style="list-style-type: none"> • Densità edilizia: 0,1 ed/ab • Densità residenziale: 0,2-0,5 ab/ha • Rapporto di copertura: 1%
	<p>SPRINKLING (MODELLO LINEARE ITALIANO)</p> <p>Insedimento a sviluppo spontaneo, additivo su matrice storica, regolato dalle direttrici viarie, con unità residenziali prevalentemente unifamiliari.</p> <p>Tessuti urbani disomogenei, con commistione di funzioni rurali, residenziali, industriali, terziarie.</p>	<p>PARAMETRI URBANISTICI TERRITORIALI MEDI</p> <ul style="list-style-type: none"> • Densità edilizia: 0.8 ed/ab • Densità residenziale: 1,5-2 ab/ha • Rapporto di copertura: 4%

Molto di più del fenomeno dello *sprawl*, lo *sprinkling* provoca una enorme crescita del reticolo stradale che impone maggiori costi per i trasporti, per la mobilità e per l'erogazione di molti servizi pubblici, oltre soprattutto a provocare un forte incremento nell'utilizzo energetico, un'elevata frammentazione degli habitat e del paesaggio. Causa perciò dei costi pubblici più elevati del classico *urban sprawl*. Il Prof. Ing. Bernardino Romano (*Università degli Studi dell'Aquila*) ha calcolato la differenza di spesa pubblica tra *sprinkling* e *sprawl* prendendo come indicatore il solo costo dell'illuminazione pubblica stradale dimostrando come sia addirittura tre volte maggiore per il primo (80 €/abitante contro 25 €/abitante all'anno) (Romano et al., 2015).

Per tal motivo, con lo *sprinkling* si incrementano i problemi legati al traffico veicolare in quanto i modelli con questa bassa densità insediativa non sono ottimizzati dal punto di vista dell'organizzazione dei sistemi di trasporto pubblico "*hub and spoke*" obbligando giocoforza le comunità residenti all'uso dell'auto privata.

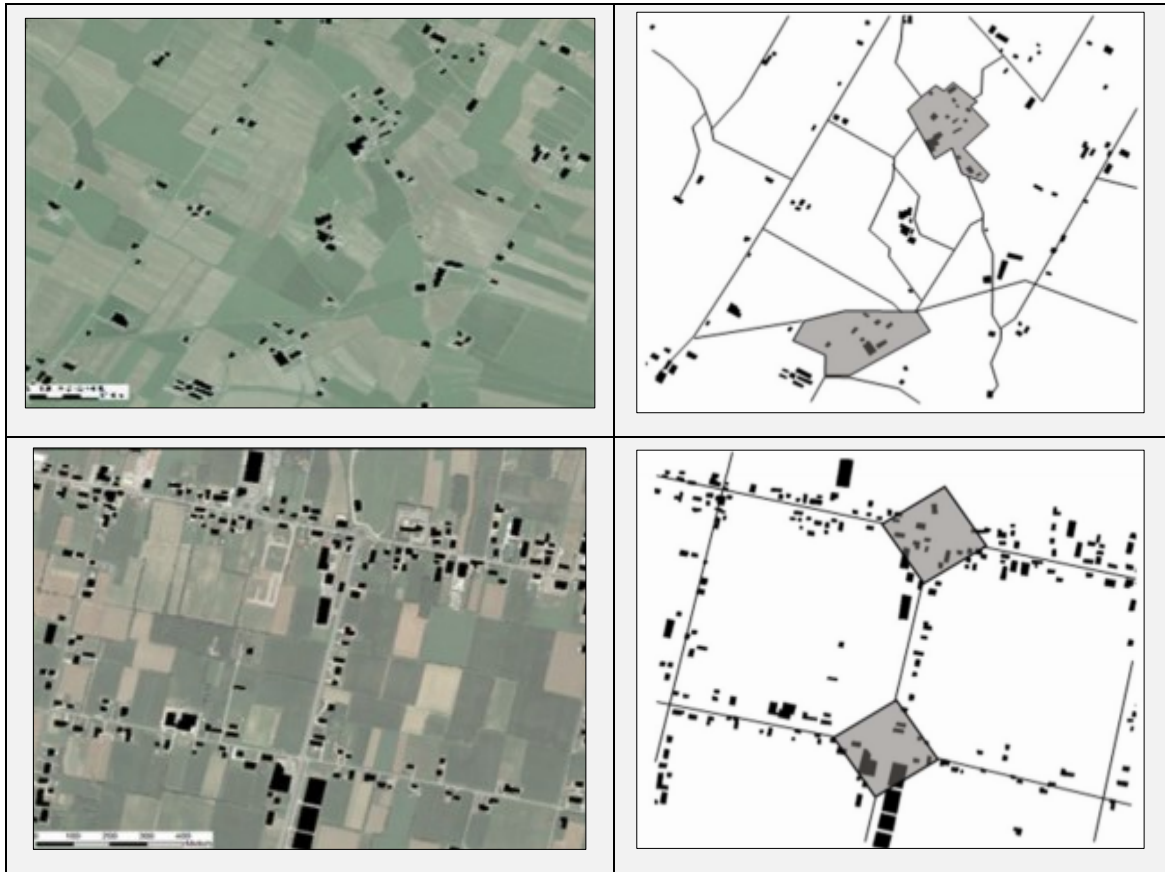


Figura 8: Sprinkling esteso (sopra) e lineare (sotto). Sulla destra vengono rappresentate le densificazioni dei tessuti urbani per future esigenze di incrementi insediativi e dotazioni di attrezzature e servizi pubblici nei due diversi casi di sprinkling (Romano et al., 2015)

3

ANALISI DELLA FRAMMENTAZIONE URBANA PER I COMUNI DEL LODIGIANO

Come esposto nel Paragrafo 1.2, i fenomeni di consumo di suolo sono definiti come quelle trasformazioni che portano un'area agricola, naturale o seminaturale, ad essere convertita in un'area urbanizzata: la pericolosità e l'irreversibilità di tali trasformazioni sono ancor più marcate su quei territori che basano la propria economia soprattutto sull'attività agricola; in questo senso, le azioni di tutela su questa tipologia di territorio risultano di fondamentale importanza.

Nel Capitolo 2 si è visto come l'urbanizzazione diffusa (*urban sprawl*) e quella dispersa (*sprinkling*) producono non solo perdita di paesaggi, suoli e relativi servizi ecosistemici, ma sono anche dei modelli insediativi dissipativi. La conoscenza di tali processi, anche molto differenti per tempi, luoghi e modalità, potrebbe consentire l'adozione di nuove regole per una razionale gestione del territorio, densificazione del tessuto urbano e dotazione di servizi in punti nevralgici.

Lo studio sarà quindi strutturato nelle seguenti fasi:

1. **Analisi della frammentazione urbana** di tutti i Comuni della Provincia di Lodi, per cui verrà proposto un set di indici spaziali che lavora sulle distanze che intercorrono tra le aree urbanizzate in gioco, ai diversi istanti temporali; inoltre sarà utilizzato un "nuovo" indicatore, chiamato **SPX**, il cui scopo è quello di poter quantificare, attraverso una formula geometrica, la frammentazione di un insediamento urbano, a scala comunale.

2. **Valutazione e confronto reciproco degli indici spaziali** utilizzati in relazione alle caratteristiche di ogni Comune, sia per quanto riguarda l'estensione territoriale e la superficie antropizzata che la popolazione residente; verrà quindi affrontata una comparazione generale ed in particolar modo un approfondimento dettagliato su alcuni casi di studio.
3. **Stima dell'impatto economico** della dispersione urbana generata nell'intervallo temporale analizzato, in questo caso a scala provinciale. È utile per trasferire le informazioni e i risultati ottenuti dal campo geometrico/spaziale a quello economico, in modo da quantificare i costi sostenuti dalla società a causa della nuova frammentazione.

Il presente elaborato ha quindi l'obiettivo di studiare come variano spazialmente e temporalmente i processi di urbanizzazione in atto nell'area di studio e quali effetti economici possano determinare. In particolare, si proverà a giudicare "qualitativamente" se ciascun Comune abbia avuto, nel corso del tempo, una crescita in **continuità di aggregato** (dove le nuove aree insediate sono sempre adiacenti a quelle preesistenti e il margine urbano si mantiene molto ben delineato rispetto alla matrice circostante) piuttosto che di tipo **metastatico** (dove, a differenza del caso precedente, si vede la città crescere nel tempo in forma decisamente più dispersa, alle volte polverizzata, in una condizione dove il nucleo principale urbano non è tracciabile).

3.1 CIRCOSCRIZIONE GEOGRAFICA

La Lombardia è la regione italiana con la maggiore percentuale di superficie artificiale, circa l'11%, rispetto alla superficie regionale totale (ISPRA, 2015). È inoltre una delle regioni che dispone dei dati più aggiornati e affidabili in materia di uso del suolo, come la **banca dati** sull'uso e copertura del suolo **DUSAF** (Rif. Paragrafo 3.2). Di conseguenza, è stata scelta come oggetto dell'analisi la Provincia di Lodi, la quale si trova nella zona meridionale della Regione (Figura 9). Confina a nord con la Provincia di Milano, ad est con la Provincia di Cremona, a sud con la Provincia di Piacenza (appartenente alla regione Emilia Romagna) e ad ovest con la Provincia di Pavia. Fu istituita con il Decreto Legislativo

n. 251 del 6 marzo 1992, a seguito dello scorporo di 61 Comuni dalla Provincia di Milano, con capoluogo di Provincia Lodi (Figura 10).

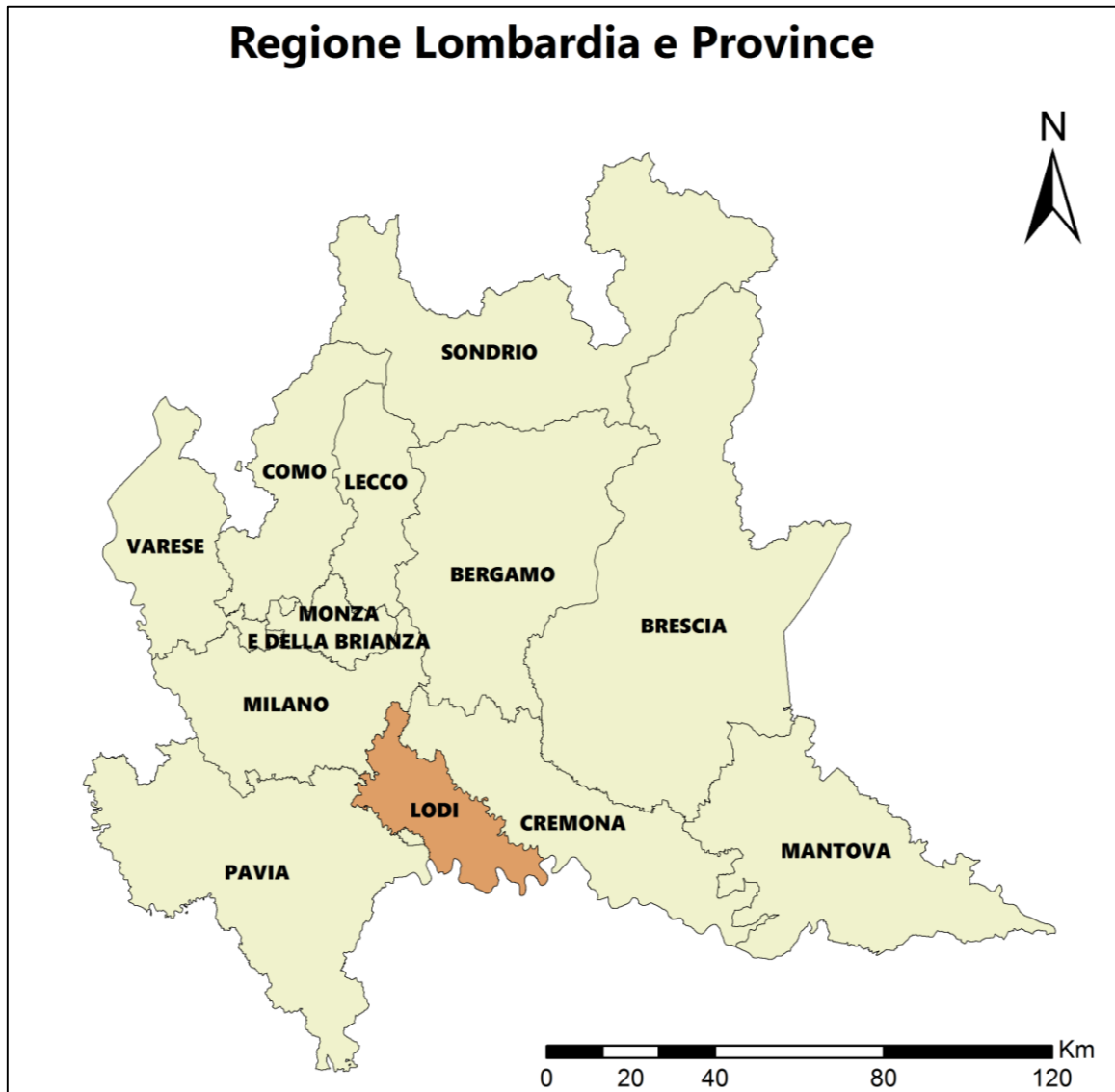


Figura 9: Regione Lombardia con Province (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori)

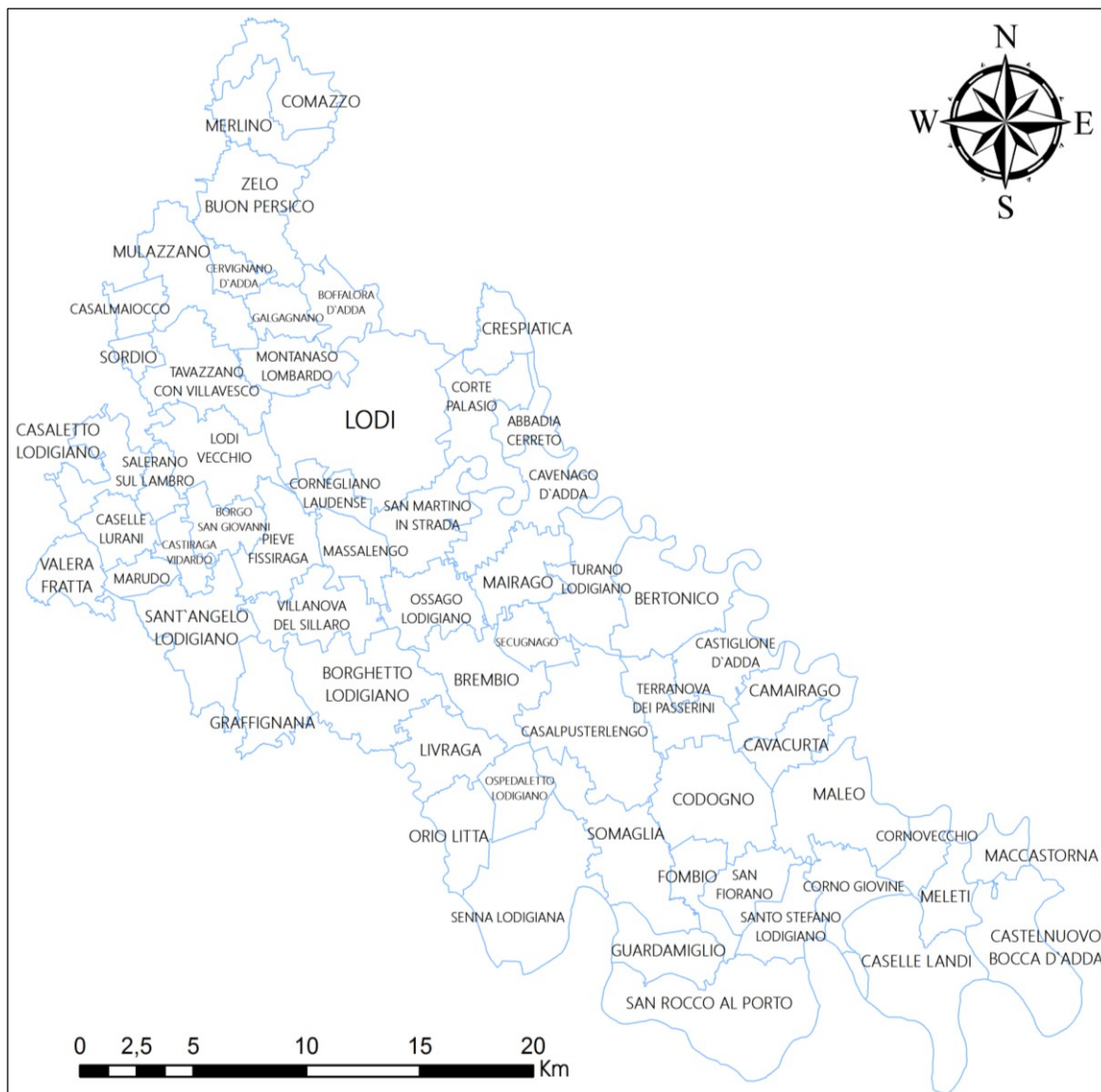


Figura 10: 161 Comuni della Provincia di Lodi (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori)

Si estende per circa 780 km² e conta 229.576 abitanti (dato ISTAT al 31/12/2014), suddivisi appunto in 61 Comuni. I Comuni con un maggior numero di residenti sono:

- Lodi (ab. 44.769)
- Codogno (ab. 15.873)
- Casalpusterlengo (ab. 15.266)
- Sant'Angelo Lodigiano (ab. 13.181)

Tutti gli altri sono ad oggi di medio-piccole dimensioni, al di sotto dei 10.000 abitanti.

La Provincia occupa una fascia di territorio, da nord-ovest a sud-est, interamente inserita all'interno della Pianura Padana, della quale ha tutti i caratteri morfologici e paesaggistici, come ad esempio territori rurali interrotti da filari di alberi, costituiti in prevalenza da pioppi, platani, robinie e querce.

Ricca di risorse idriche e formata in gran parte da territori bonificati, la Provincia di Lodi è attraversata da grandi corsi d'acqua, tra cui i più significativi sono i fiumi Po, Adda e Lambro. Le risorse ambientali sono notevoli e tali che, con la creazione del Parco Adda Sud nel 1983, è stato deciso di sottoporli a vincoli di tutela.

Per la particolare morfologia che caratterizza questa zona, lo sviluppo economico si orienta verso la filiera agro-alimentare, in particolare in direzione della trasformazione, lavorazione e vendita dei prodotti di origine. Oltre il 70% del territorio provinciale è utilizzato a scopo agricolo (Figura 11) e ciò determina una vocazione marcatamente rurale. La Provincia di Lodi è infatti uno dei più importanti centri italiani per l'agricoltura e l'allevamento, non a caso è considerato un punto di riferimento nel settore zootecnico nell'intera Unione Europea.

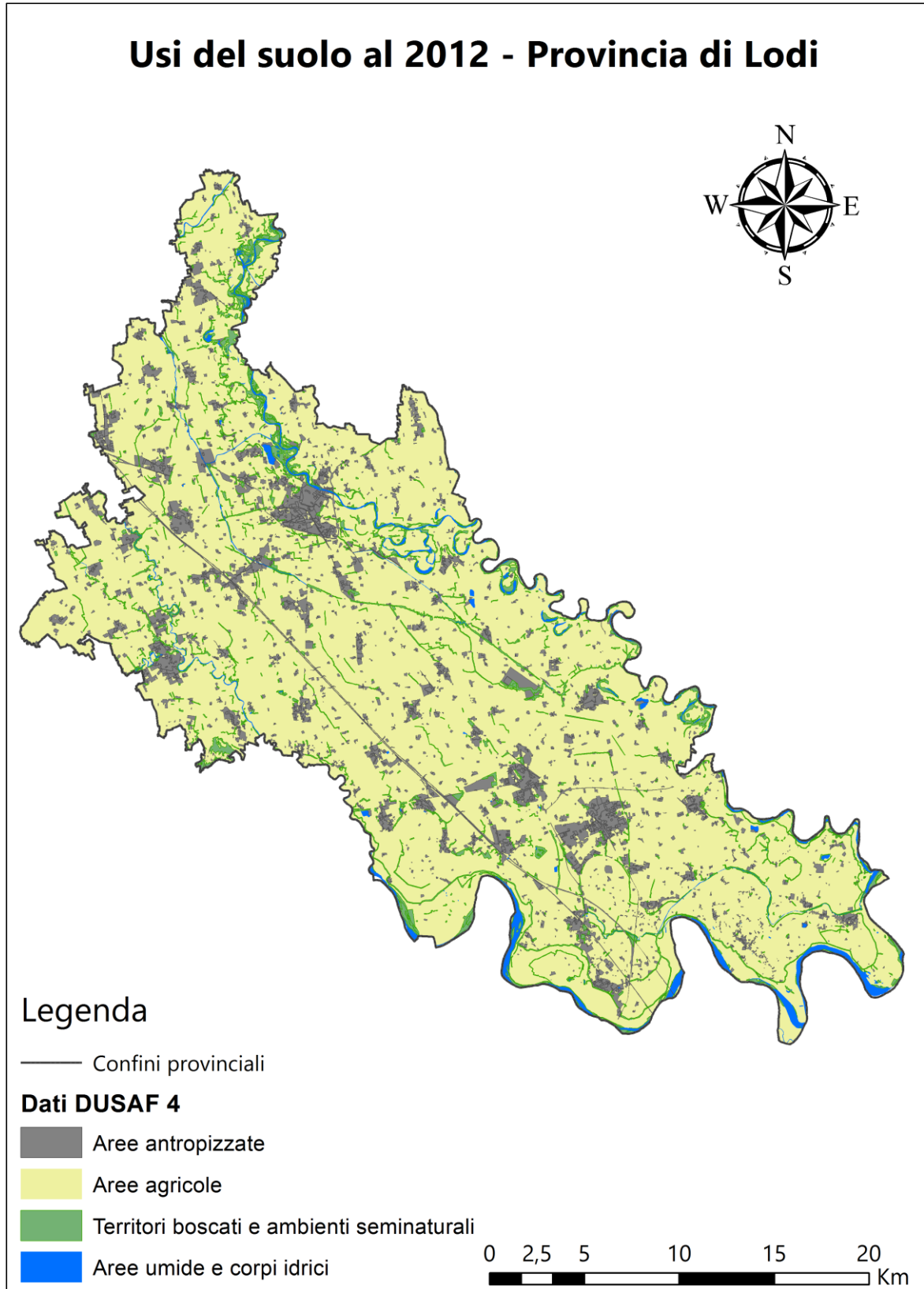


Figura 11: Provincia di Lodi - usi del suolo al 2012 (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori)

La maggior parte del territorio agricolo è destinata principalmente alle colture foraggere, con frutteti e cereali che occupano un posto di minore rilievo; la motivazione di ciò risiede nel grande sviluppo dell'allevamento bovino e suino, che interessa quasi la metà delle aziende agricole. L'organizzazione della produzione agricola ha definito uno specifico modello sociale ed economico, che ha il suo centro nella figura di un insediamento produttivo agricolo medio.

Per quanto riguarda il profilo socioeconomico, la Provincia è caratterizzata da notevoli differenze di stili di vita tra la zona settentrionale, vicina a Milano, e la zona meridionale, ancora immersa nei ritmi meno frenetici della campagna. Nel tessuto economico si registra, inoltre, una forte presenza di piccole e medie imprese artigianali ed industriali e numerose attività del settore terziario avanzato (soprattutto assicurazioni e banche).

3.2 DATI DUSAF E ARCO TEMPORALE DI RIFERIMENTO

I dati necessari all'analisi sono stati reperiti dal *GEOPortale della Regione Lombardia*: oltre agli ambiti amministrativi, confini comunali e provinciali, sono state utilizzate le informazioni presenti all'interno della banca dati geografica DUSAF, la quale attualmente fornisce i dati sulla tipologia d'uso del suolo per tutto il territorio regionale a diverse soglie temporali: 1999, 1999/2000, 2005/2007, 2007, 2009 ed infine 2012 (rispettivamente DUSAF 1.0, DUSAF 1.1, DUSAF 2.0, DUSAF 2.1, DUSAF 3.0 e DUSAF 4).

DUSAF (*Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali*) è una banca dati geografica nata nel 2000 nell'ambito di un progetto promosso e finanziato dalle *Direzioni Generali Territorio e Urbanistica e Agricoltura di Regione Lombardia* e realizzata dall'*Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste (ERSAF)* con la collaborazione dell'*Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia (ARPA)*. La prima versione della banca dati, ottenuta dall'interpretazione di foto aeree eseguite negli anni 1998-1999, è stata successivamente aggiornata utilizzando le foto aeree del 2007 e del 2012 integrate con informazioni tematiche prodotte dagli enti partecipanti alla IIT (*Infrastruttura per l'Informazione Territoriale*) della Lombardia.

DUSAF viene aggiornata periodicamente con scadenza più o meno biennale, mediante l'interpretazione di foto aeree rese via via disponibili da AGEA (*Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura*).

Il dettaglio informativo della banca dati è coerente con la scala 1:10.000 ed è costituita da una componente poligonale (lo strato "uso del suolo") e da una componente lineare (lo strato "siepi e filari").

La classificazione DUSAF è strutturata in cinque livelli gerarchici di cui i primi tre sono generali e definiti in modo conforme al Corine Land Cover, per rendere possibile il confronto interregionale. Il primo livello comprende cinque classi generali che abbracciano le principali tipologie di copertura del suolo, che vengono sempre più differenziate nei successivi due livelli. L'esigenza di rappresentare alcune specificità locali ha consigliato l'introduzione di altri due livelli (IV e V), che, ove presenti, descrivono elementi caratteristici del territorio lombardo (Fasolini et al., 2010).

La legenda DUSAF distingue cinque grandi tipologie di uso del suolo, ciascuna delle quali suddivisa nei sopracitati livelli gerarchici, che sono:

- 1. Aree antropizzate**
- 2. Aree agricole**
- 3. Territori boscati e ambienti seminaturali**
- 4. Aree umide**
- 5. Corpi idrici**

Per l'analisi degli indici utilizzati in questo elaborato si è fatto riferimento alla prima categoria, aree antropizzate, riportata in dettaglio in Tabella 4. In particolare, si sono considerate solamente le classi 11 (aree urbanizzate) e 12 (insediamenti produttivi, grandi impianti e reti di comunicazione), dato che le altre due classi (13 e 14) non le si considerano partecipanti ai fenomeni di diffusione e dispersione urbana, ovvero *sprawl* e *sprinkling*.

Tabella 4: Estratto dalla legenda DUSAF (classe 1 - aree antropizzate) con evidenziate, nel riquadro rosso, le sottoclassi 11 e 12 prese in considerazione nel lavoro

LIVELLI						
Ambito generale			Ambito locale			
I	II	III	IV	V		
1 aree antropizzate	11 aree urbanizzate	111 tessuto urbano continuo	1111 tessuto residenziale denso 1112 tessuto residenziale continuo mediamente denso			
		112 insediamento discontinuo	1121 tessuto residenziale discontinuo			
			1122 tessuto residenziale rado e nucleiforme			
			1123 tessuto residenziale sparso	11231 casine		
	12 insediamenti produttivi, grandi impianti e reti di comunicazione	121 zone produttive e insediamenti di grandi impianti di servizi pubblici e privati	1211 insediamenti industriali, artigianali, commerciali e agricoli con spazi annessi	12111 insediamenti industriali, artigianali, commerciali 12112 insediamenti produttivi agricoli		
			1212 insediamenti di grandi impianti di servizi pubblici e privati	12121 insediamenti ospedalieri 12122 impianti di servizi pubblici e privati 12123 impianti tecnologici 12124 cimiteri 12125 aree militari obliterate		
		122 reti stradali, ferroviarie e spazi accessori	1221 reti stradali e spazi accessori 1222 reti ferroviarie e spazi accessori			
		123 aree portuali				
		124 aeroporti ed eliporti				
		13 aree estrattive, discariche, cantieri, terreni artefatti e abbandonati	131 cave			
			132 discariche			
			133 cantieri			
	134 aree degradate e non vegetate					
	14 aree verdi non agricole	141 aree verdi urbane	1411 parchi e giardini			
			1412 aree verdi incolte			
		142 aree sportive e ricreative	1421 impianti sportivi			
			1422 campeggi e strutture turistiche e ricettive			
		1423 parchi divertimento				
		1424 aree archeologiche				

Per quanto riguarda la scelta delle soglie temporali, invece, essa è stata limitata a tre istanti e, di conseguenza, due intervalli temporali. Si è deciso di considerare gli anni dal 1999 (t_0 , DUSAF 1.0) al 2007 (t_1 , DUSAF 2.1), in quanto rappresentano una finestra abbastanza ampia da essere rappresentativa di un trend, avendo modo di apprezzare variazioni significative sia nell'andamento della popolazione sia dell'urbanizzato, senza che l'analisi sia intaccata da piccole oscillazioni che possono verificarsi di anno in anno. In secondo luogo tale finestra temporale consente di ottenere una fotografia della situazione antecedente la crisi del 2008, che ha avuto effetti anche sul settore edile. A tal proposito è stata condotta l'analisi anche per la finestra temporale che va dal 2007 al 2012 (t_2 , DUSAF 4), per rilevare l'entità del cambiamento in questo intervallo temporale ed in un contesto storico ed economico così particolare.

Nel seguito dell'elaborato verrà utilizzato spesso e volentieri il termine "urbanizzato" anche ad aree che non appartengono solo alla classe 11 del DUSAF, ma anche alla classe 12 (insediamenti produttivi, grandi impianti e reti di comunicazione). Il tutto per chiarezza e semplicità nel linguaggio.

3.3 PERCORSO METODOLOGICO

L'obiettivo di questo lavoro di Tesi consiste nell'identificare, prima visivamente e in seguito quantitativamente con il supporto di specifici indicatori, i fenomeni spaziali di espansione incontrollata e discontinua delle urbanizzazioni.

Dopo aver scelto come area di studio iniziale la Provincia di Lodi, si è posto il problema di scegliere a che scala spaziale effettuare il campionamento, se provinciale, comunale o addirittura sub-comunale.

Allo scopo di poter distinguere il fenomeno dello *sprinkling* dal fenomeno dello *sprawl*, si è pensato di utilizzare una serie di indicatori, in grado di lavorare sulle geometrie delle forme. Questo ci ha portato alla scoperta e utilizzo di un particolare software: FRAGSTATS.

FRAGSTATS è un software per piattaforma Microsoft Windows[®], sviluppato dal Prof. Dott. Kevin McGarigal (*University of Massachusetts Amherst*), in grado di calcolare un elevato set di indici spaziali, alcuni dei quali presenti nella Tabella 2.

Potendo richiedere come input differenti tipologie di file tra cui i raster e gli ESRI grid, con FRAGSTATS è possibile ottenere i valori degli indici prescelti applicati ai file inseriti, che possono essere ad esempio immagini o mappe (.GeoTIFF²), riguardanti la copertura del suolo.

2. GeoTIFF è un tipo di metadati, distribuito nel pubblico dominio, che permette di incorporare riferimenti geografici all'interno di un'immagine TIFF. Potenzialmente, può includere proiezioni, ellissoidi, datum, coordinate, e tutto ciò che è necessario per stabilire l'esatto riferimento spaziale per il file. Il formato GeoTIFF è completamente compatibile con le specifiche TIFF 6.0.

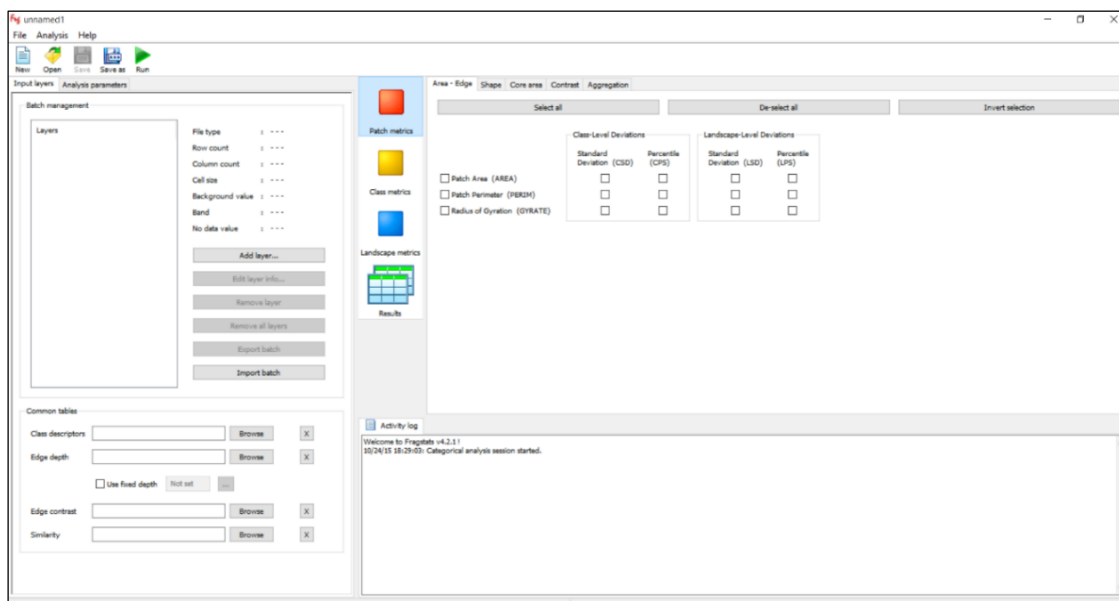


Figura 12: Interfaccia grafica di FRAGSTATS 4.2.1

Con questo software, sono stati ottenuti i valori degli indicatori sia alla scala massima (quella provinciale, utilizzando il dato topografico), che ad una molto inferiore (scala sub-comunale), utilizzando celle a maglia quadrata.

Nonostante nel corso del lavoro sia stato sostituito il database topografico - unità volumetriche - col DUSAF per un'eventuale valutazione a diversi istanti temporali, è stato scelto di abbandonare FRAGSTATS per una serie di motivi, tra cui:

1. Indici non utili per un'analisi della distanza tra nuove superfici urbanizzate, realizzate tra un istante e il successivo, con particolari aree di interesse, come il nucleo più compatto;
2. Opportunità di utilizzo di un indice di frammentazione ancora in fase sperimentale (definito come SPX, B. Romano), ma non presente nel software stesso.

Dopo aver testato il software FRAGSTATS, si è deciso di impostare la ricerca focalizzandosi su una scala a metà fra la griglia a maglia quadrata (la quale comporta una serie di problemi al contorno) e l'intera Provincia, ovvero la scala comunale.

Scegliendo pertanto quest'ultima, è risultato più immediato fare delle valutazioni sulle scelte di pianificazione urbana di ogni singolo Comune, in quanto ovviamente i poteri decisionali di ognuno di essi risiedono all'interno dei propri limiti amministrativi. Per fare

queste valutazioni è risultato necessario ottenere multiple informazioni oltre quella relativa alla frammentazione, tra cui i valori di distanza fra le varie aree di urbanizzato a diversi istanti temporali.

La realizzazione di nuove aree urbanizzate all'interno di un Comune può sicuramente influenzare l'indice di frammentazione, ma risulta significativo capire dove esse si posizionano. Si possono avere tre casi:

- Adiacenti, o prossime, al nucleo compatto;
- Adiacenti, o prossime, ad aree distanti dal nucleo comunale;
- Disperse, e quindi distanti, da aree già insediate.

Per effettuare questi calcoli di distanza si è deciso in un primo momento di utilizzare i centroidi, ovvero i baricentri dei poligoni rappresentanti le singole aree urbanizzate. Questa metodologia implica sia dei vantaggi che degli svantaggi.

Il grande vantaggio consiste nella capacità di “filtrare” gli effetti di forma dei poligoni, come risulta possibile vedere in Figura 13.

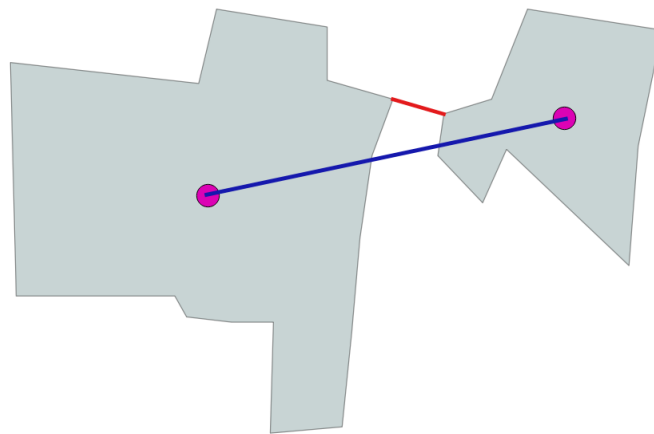


Figura 13: In blu viene raffigurata la distanza tra i centroidi dei relativi poligoni, in rosso la minor distanza tra le due geometrie (Fonte: elaborazione degli autori)

Vi è però una netta differenza nel calcolo di distanza se si prendono in considerazione i centroidi piuttosto che i confini delle geometrie.

Lo svantaggio principale dell'utilizzo dei centroidi consiste nell'ottenere un valore positivo di distanza tra due o più aree urbanizzate, anche quando esse risultino adiacenti

(Figura 14); il che può comportare un'errata interpretazione dei risultati, portando ad una sovrastima della frammentazione, anche quando in realtà la tendenza è opposta.

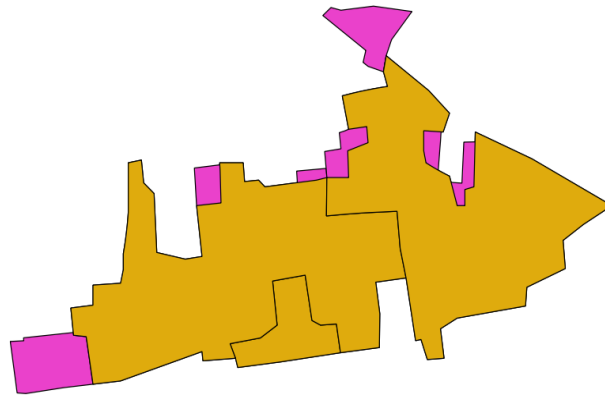


Figura 14: Geometrie adiacenti (Fonte: elaborazione degli autori)

A seguito della scoperta di tutte le precedenti caratteristiche/problematiche, si è deciso di calcolare i tre particolari indici spiegati nel prossimo Paragrafo, e approfonditi anche in APPENDICE 4.

3.4 INDICI SPAZIALI UTILIZZATI

Per ogni Comune della Provincia di Lodi vengono calcolati i tre indici, ovvero:

1. **Valor medio delle minime distanze tra poligoni e nucleo compatto dissolto (CoreDiss)**
2. **Valor medio delle minime distanze tra le nuove aree e quelle già presenti (NewDist)**
3. **Indice di frammentazione (SPX)**

3.4.1 Procedimento, preparazione e caricamento dei dati

Dopo aver scaricato il DUSAF della Regione Lombardia dal GEOPortale³, si esegue il “Clip”.

È un’operazione che permette di estrarre le caratteristiche dell’input, in questo caso il DUSAF, che si sovrappongono alla clip feature, ovvero i 61 Comuni della Provincia di Lodi, creando un nuovo file di output avente la dimensione provinciale e gli attributi del DUSAF. Vengono rimosse tutte le classi DUSAF che non servono per lo scopo del lavoro e per il calcolo dei tre indici, tranne le classi 11 (aree urbanizzate) e 12 (insediamenti produttivi, grandi impianti e reti di comunicazione), perché non costituiscono possibili situazioni di *sprawl* e/o *sprinkling*.

Si caricano gli shapefile “limiti amministrativi” dei Comuni della Provincia, e successivamente viene selezionato il Comune prescelto ed estratto.

Viene caricato il DUSAF 1.0 (t_0 , 1999) della Provincia di Lodi e si esegue ancora una volta il “Clip” (cioè l’input è rappresentato dal DUSAF 1.0, la clip feature è il limite amministrativo del Comune prescelto, l’output è il risultato dell’operazione). Si esegue la stessa operazione per gli altri due DUSAF (2.1, t_1 , anno 2007; 4, t_2 , anno 2012). Si ottengono in questo modo tre DUSAF sul Comune ai tre istanti temporali.

Successivamente viene creato un nuovo campo nella tabella degli attributi rappresentante l’area di ogni geometria, necessario per il successivo calcolo dell’indice SPX, con il comando “**Calculate Areas**”. Si esegue la differenza simmetrica, con il comando “**Symmetrical Difference**”, per capire le nuove aree urbanizzate che si aggiungono tra un istante ed il precedente, quindi tra le classi 11 e 12 all’anno 2007 con quelle al tempo t_0 , 1999, e tra le stesse classi all’anno 2012 con quelle al tempo t_1 . Quindi questa operazione viene eseguita in totale due volte.

Può accadere che alcuni insediamenti presenti all’istante t_0 “spariscano” all’istante t_1 o a causa di probabili errori nella costruzione dello shapefile, oppure a causa di aree che si “trasformano”, da un istante temporale a quello successivo, in aree non più appartenenti alle classi 11 e 12. Nel lavoro si considerano solo le geometrie che effettivamente rappresentano nuove superfici appartenenti alle classi 11 e 12, cercando di eliminare gli errori dovuti a una

3. <http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>

cattiva rappresentazione delle aree nel corso dei diversi DUSAF (molto spesso quelli più recenti, come DUSAF 4, risultano più precisi).

Sempre in ArcGIS vengono selezionate le geometrie comprendenti il nucleo più grande e compatto, considerate appartenenti al “cuore” del Comune, o comunque il gruppo di insediamenti adiacenti più estesi (in alcuni casi si sono utilizzate immagini satellitari per una maggiore chiarezza visiva di ciò che si sceglieva o che si poteva escludere, come per esempio un grande gruppo di aree ma appartenenti ad impianti industriali o simili).

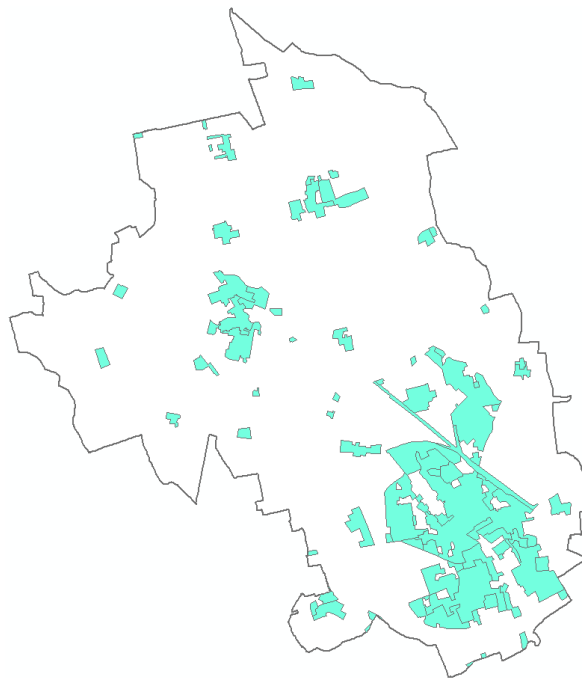


Figura 15: DUSAF 1.0, Comune di Casalpusterlengo

Viene estratto il nucleo scelto, creando un nuovo *shapefile* (Rif. APPENDICE 1).



Figura 16: DUSAF 1.0, nucleo estratto, Comune di Casalpusterlengo

Si fonde il nucleo tramite il comando “**Dissolve**” (operazione che permette di aggregare più poligoni, trasformandoli in uno solo, attraverso specifici attributi). Il nucleo dissolto di riferimento è quello al tempo t_0 (DUSAF 1.0, 1999) e sarà utilizzato per i calcoli di distanza.

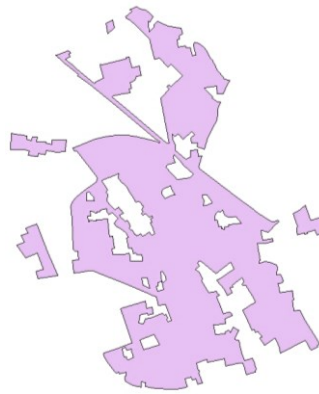


Figura 17: DUSAF 1.0, nucleo estratto dissolto, Comune di Casalpusterlengo

Tramite il comando “**Erase**” si elimina il nucleo, sempre quello del 1999, dai tre DUSAF.

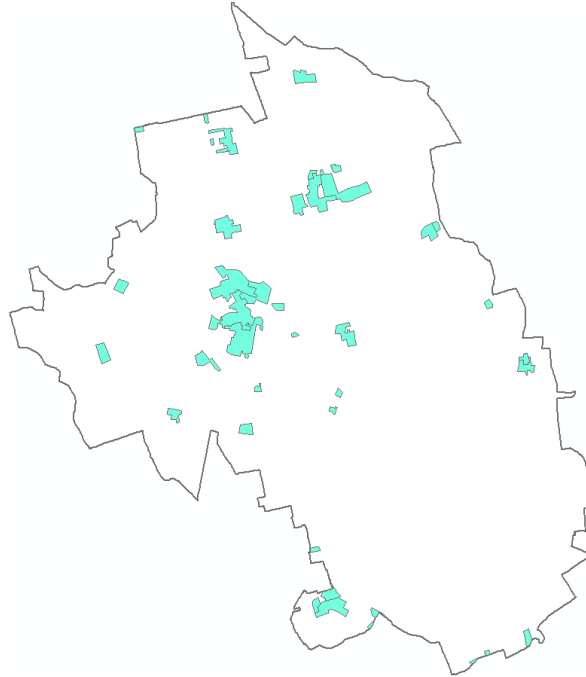


Figura 18: DUSAF 1.0, Comune di Casalpusterlengo senza nucleo

A questo punto la fase di preparazione dei file risulta terminata, di conseguenza inizia quella di calcolo e analisi degli indici impiegati, spiegata nei prossimi tre paragrafi.

3.4.2 Indice CoreDiss

Per il calcolo del primo indice, **valor medio delle minime distanze tra poligoni e nucleo compatto dissolto**, si eseguono i seguenti passaggi:

- Dopo aver scelto il Comune su cui applicare l'indice (per esempio il Comune di Guardamiglio, riportato in Figura 19), si caricano in ArcGIS i due seguenti *shapefile*: “comune senza nucleo” e “nucleo compatto dissolto”, all'istante iniziale $t_0 = 1999$ (DUSAF 1.0).

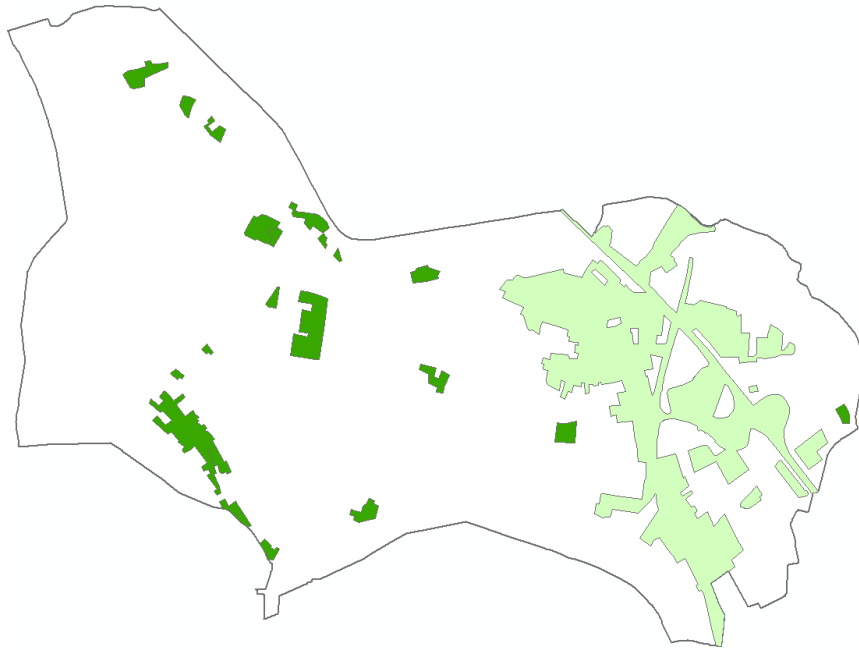


Figura 19: Comune di Guardamiglio. In verde chiaro è rappresentato il nucleo compatto del Comune dopo l'operazione di "Dissolve" mentre in verde scuro le aree non appartenenti ad esso (DUSAF 1.0, 1999)

- Si calcolano le distanze fra le aree e il nucleo compatto dissolto con il comando "Generate Near Table". Con "Table to Excel" si converte la tabella in un file di Microsoft Excel®. A seguire si riporta il risultato ottenuto, in cui la prima colonna rappresenta le aree presenti all'istante iniziale (in questo caso 22), la seconda il codice identificativo del nucleo dissolto, la terza la distanza di ogni singola patch dal nucleo ed infine viene calcolato il valor medio delle minime distanze.

Tabella 5: Calcolo delle distanze minime fra le patch e il nucleo compatto dissolto all'istante temporale iniziale ($t_0 = 1999$) per il Comune di Guardamiglio

IN_FID	NEAR_FID	NEAR_DIST [m]	Valor medio [m]
0	0	1.063	1.356
1	0	1.294	
2	0	2.086	
3	0	1.852	
4	0	1.007	
5	0	363	
6	0	1.722	
7	0	538	
8	0	139	
9	0	939	
10	0	1.853	
11	0	1.920	
12	0	127	
13	0	1.347	
14	0	1.317	
15	0	1.047	
16	0	1.227	
17	0	1.944	
18	0	1.932	
19	0	2.343	
20	0	1.888	
21	0	1.886	

- Si ripete lo stesso procedimento per i due istanti temporali successivi, ovvero $t_1 = 2007$ (DUSAF 2.1) e $t_2 = 2012$ (DUSAF 4). Nella prima figura, in rosso si possono vedere le nuove aree insediate presenti all'istante t_1 , oltre a quelle presenti al tempo iniziale. La seconda figura rappresenta il DUSAF 4, dove in blu sono raffigurate le nuove aree insediate che si inseriscono tra il 2007 e il 2012.

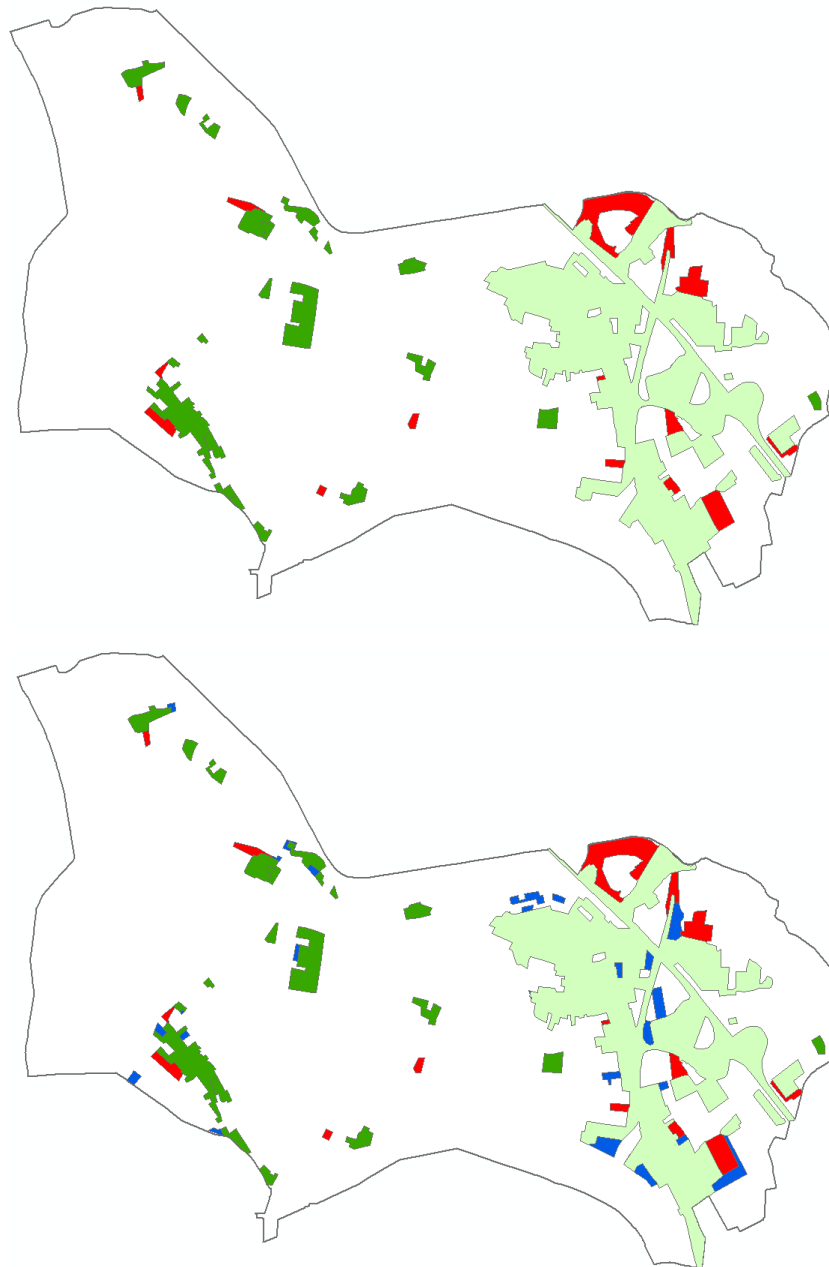


Figura 20: Comune di Guardamiglio. Nella figura in alto è raffigurato il DUSAF 2.1 (in cui i poligoni rossi costituiscono le nuove aree insediate tra il 1999 e il 2007) con il nucleo compatto dissolto del 1999 (in verde chiaro). Nella figura in basso è raffigurato il DUSAF 4 (in cui i poligoni blu costituiscono le nuove aree insediate tra il 2007 e il 2012), sempre con il nucleo al tempo iniziale

- Si ottengono quindi altre due tabelle di distanza tra le patch e il nucleo compatto. La seguente tabella mostra il riassunto delle misure di distanza minima ottenute per il Comune prescelto, nella quale: la prima, la terza e la quinta colonna corrispondono, rispettivamente, al valore medio delle distanze minime tra le aree e il nucleo dissolto

al 1999, 2007 e 2012, la seconda colonna corrisponde alla variazione tra il 2007 e il 1999, la quarta alla variazione tra il 2012 e il 2007.

Tabella 6: Distanza minima media delle aree rispetto al nucleo compatto dissolto al 1999 (prima colonna), 2007 (terza colonna) e 2012 (quinta colonna) con relative variazioni negli intervalli temporali 2007-1999 e 2012-2007

CoreDiss ₁₉₉₉ [m]	$\Delta_{2007-1999}$ [m]	CoreDiss ₂₀₀₇ [m]	$\Delta_{2012-2007}$ [m]	CoreDiss ₂₀₁₂ [m]
1.356	-296	1.060	-90	970

Come si può notare dai risultati ottenuti, la distanza minima media delle aree rispetto al nucleo compatto dissolto tende sempre a diminuire nei due intervalli temporali, soprattutto tra il 2007 e il 1999 dove le nuove aree insediate (mostrate in rosso nelle figure precedenti) vengono costruite mediamente più vicino al nucleo compatto rispetto a quelle presenti al 1999, quindi portando ad un notevole calo della distanza minima media calcolata, risultante in 1.060 metri. Lo stesso ragionamento si può fare nell'intervallo temporale successivo, anche se la diminuzione della distanza minima delle patch dal nucleo è inferiore e corrispondente a 90 metri, grazie alle nuove aree insediate presenti nel DUSAF 4 e colorate in blu nella Figura 20.

Il risultato finale numerico conferma come il Comune di Guardamiglio tenda a costruire nuove aree urbanizzate più vicine al nucleo di partenza, piuttosto che a grandi distanze.

3.4.3 Indice NewDist

Per il calcolo del secondo indice, **valor medio delle minime distanze tra le nuove aree e quelle già presenti**, si eseguono i seguenti passaggi:

- Per prima cosa si sceglie il Comune su cui effettuare l'operazione (si riporta in figura, come esempio, il Comune di Terranova dei Passerini). Vengono caricate le aree appartenenti al DUSAF 1.0 (sempre le sole classi 11 e 12) all'istante temporale $t_0 = 1999$ e le sole nuove aree insediate tra il tempo iniziale e il 2007.

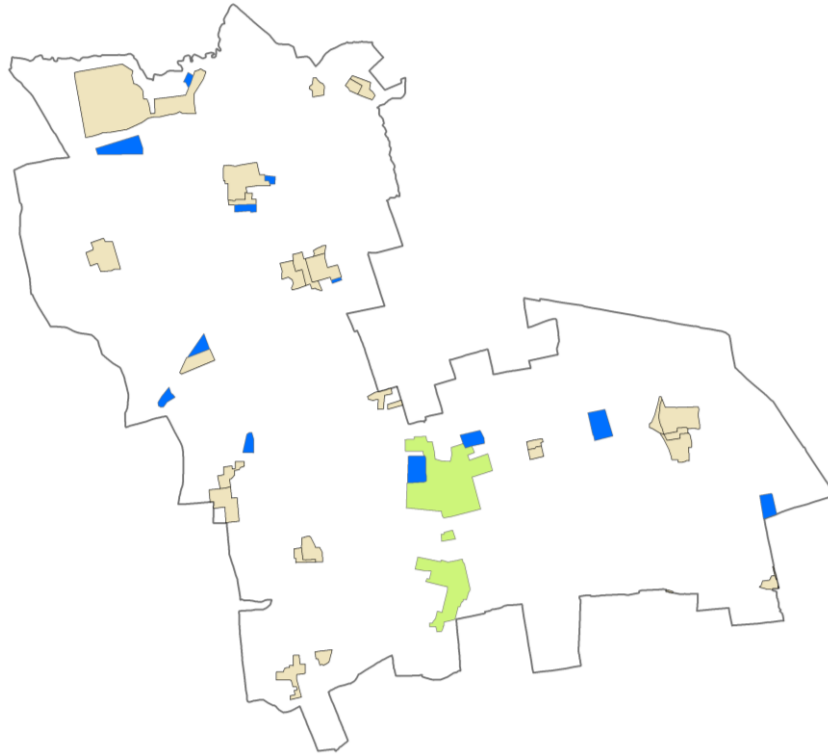


Figura 21: Comune di Terranova dei Passerini. In grigio vengono raffigurati i poligoni appartenenti al DUSAF 1.0 (1999) delle sole classi 11 e 12, in blu le nuove aree costruite fino al 2007 (e appartenenti al DUSAF 2.1). Il nucleo comunale è rappresentato dal poligono verde

- Si calcolano le distanze minime fra le nuove patch al 2007 e quella antecedente (in termini di tempo) più vicina, con il comando “**Generate Near Table**”. È sufficiente che due poligoni abbiano un punto in comune per restituire un valore nullo di distanza. Con il comando “**Table to Excel**” si converte la tabella in un file di Microsoft Excel®.
- Si ripete lo stesso procedimento anche per l’intervallo temporale che va da $t_1 = 2007$ a $t_2 = 2012$. In questo caso l’istante iniziale è rappresentato dalle aree del DUSAF 2.1 (sempre le sole classi 11 e 12).

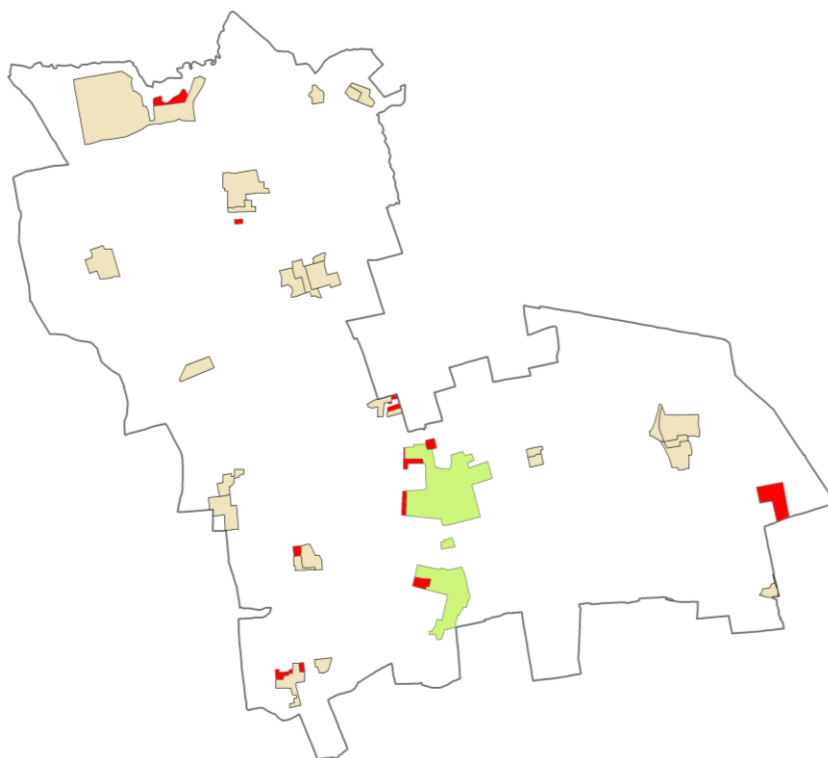


Figura 22: Comune di Terranova dei Passerini. In grigio le patch appartenenti al DUSAF 2.1 (2007) delle sole classi 11 e 12, in rosso le nuove aree insediate costruite fino al 2012 (DUSAF 4). Il nucleo comunale è rappresentato dal poligono verde

- Si ottengono in tutto due risultati, ovvero le distanze minime tra le nuove aree e quelle già esistenti negli archi temporali 2007-1999 e 2012-2007.

Tabella 7: La prima colonna rappresenta il codice identificativo delle nuove aree costruite tra il 1999 e il 2007 (in totale sono undici), la seconda quella della patch presente al 1999 più vicina alla nuova. La terza colonna restituisce il calcolo della distanza

IN_FID	NEAR_FID	NEAR_DIST [m]	Valor medio [m]
0	4	0	70
1	0	57	
2	20	0	
3	25	238	
4	36	0	
5	10	309	
6	11	0	
7	18	56	
8	0	0	
9	1	0	
10	20	113	

Si può notare come in questo caso sei volte su undici le nuove aree risultino avere almeno un punto in comune con quelle precedenti, risultando in un valore uguale a zero nel calcolo di distanza. Cinque aree, invece, sono state costruite più o meno distanti da quelle già esistenti. Si può affermare con un giudizio qualitativo che il Comune non si sia comportato nel migliore dei modi per quanto riguarda la pianificazione e la costruzione di nuove aree urbanizzate in questo intervallo temporale.

Tabella 8: La prima colonna rappresenta il codice identificativo delle nuove aree costruite tra il 2007 e il 2012 (in tutto sono dieci), la seconda quello della patch presente al 2007 più vicina alla nuova. La terza colonna restituisce il calcolo della distanza minima tra di esse. La quarta il valor medio delle dieci distanze

IN_FID	NEAR_FID	NEAR_DIST [m]	Valor medio [m]
0	9	0	0
1	14	0	
2	30	0	
3	20	0	
4	38	0	
5	22	0	
6	0	0	
7	0	0	
8	21	0	
9	34	0	

Nell'intervallo temporale che va dal 2007 al 2012, si può affermare che la costruzione delle nuove aree abbia seguito un filo logico, ovvero quello di non urbanizzare lontano dagli insediamenti già esistenti e sparsi su tutta la superficie comunale (come si può notare dal risultato ottenuto in Tabella 8, dove nessuna nuova patch è distaccata da quelle presenti al 2007, restituendo un valore medio pari a zero).

Si può osservare come non vi sia stato un vero e proprio calo nella costruzione di nuove aree tra i due intervalli temporali, dato che si è passati da undici e dieci nuove patch di urbanizzato. Inoltre, in nessuno dei due casi, il Comune ha deciso di urbanizzare le zone prossime al nucleo (ovvero, il più grande gruppo compatto di insediamenti visibile nella zona più meridionale, riconoscibile nella Figura 22), con al più due o tre insediamenti. Le figure soprastanti mostrano, infatti, come Terranova dei Passerini sia costituito da una forma insediativa molto dispersa.

3.4.4 Indice SPX

Il terzo indice utilizzato, definito **SPX**, ancora in fase di studio, è stato applicato fino ad oggi solamente alle Regioni Umbria e Abruzzo (B. Romano). Ha come scopo quello di poter quantificare, attraverso una valutazione puramente geometrica, la frammentazione di un insediamento urbano; pertanto, solamente grazie ad una capacità di comprensione dello “spezzettamento” di un’urbanizzazione è possibile fare delle valutazioni qualitative dei possibili fenomeni di *sprinkling*.

Il Prof. Ing. Bernardino Romano e il suo team hanno applicato, nel loro lavoro, tale indice su plot a maglia quadrata da 1 Km x 1 Km, in quanto dalle loro sperimentazioni è risultata essere un’unità statistica molto significativa per catturare modelli il più possibile omogenei.

In questo lavoro di Tesi, invece, si è scelto di applicare la stessa definizione dell’indice ma ad una scala diversa, quella comunale. Sapendo che probabilmente i valori ottenuti sarebbero potuti dipendere dalle estensioni territoriali dei singoli Comuni, si è deciso di non utilizzare la griglia a maglia quadrata per i seguenti motivi:

- Problemi di “bordo” ai confini provinciali;
- Risultati dipendenti dal posizionamento della griglia sul territorio (traslando la griglia è probabile che si ottengano valori differenti).

La scelta di utilizzare tale scala è avvalorata dal fatto che le decisioni di pianificazione territoriale, le quali possono incidere profondamente sul territorio, risiedono al livello comunale che pertanto è la più piccola unità amministrativa. Quindi si è applicato tale indice geometrico ad ogni Comune, per tutti e tre gli istanti temporali considerati, in modo tale da riuscire ad avere un quadro molto dettagliato sulla frammentazione e dispersione urbana, sia a livello spaziale che temporale.

Il grande vantaggio che possiede questo indice, rispetto ad altri indicatori metrici e non, è che risulta indipendente dalla scala spaziale, implicando perciò che i valori ottenuti per i vari Comuni possono, almeno teoricamente, essere paragonati fra di loro.

Prima di enunciare i vari passaggi eseguiti, è necessario definirlo attraverso la seguente formula:

$$SPX = \frac{\sum \sqrt{(x_i - x^*)^2 + (y_i - y^*)^2}}{R}$$

Dove:

- x_i e y_i sono le coordinate dei centroidi delle singole patch di urbanizzato;
- x^* e y^* sono le coordinate del centroide del nucleo estratto dissolto (sempre quello al tempo $t_0 = 1999$);
- R rappresenta il raggio dell'area circolare di dimensioni analoghe a quelle della somma delle aree urbanizzate presenti.

SPX ha un range di valori ammissibili che spazia da 0 a $+\infty$, crescendo via via con una sempre maggior frammentazione (e quindi con un aumento del numeratore della formula); il valore nullo rappresenta chiaramente una situazione limite, difficilmente riscontrabile in realtà, ovvero un cerchio perfetto e compatto.

Come per gli altri due indici trattati precedentemente, occorre una precisa modalità di preparazione dei file GIS, necessari per il calcolo di SPX. Come è possibile notare nella definizione di SPX stesso infatti, è necessario calcolare, per ogni singolo Comune, tutte le distanze tra i centroidi, ovvero i baricentri, delle varie geometrie di urbanizzato localizzate esternamente a ciò che, in fase di analisi preliminare, viene definito essere il nucleo compatto del Comune stesso.

Nel seguito vengono analizzati con ordine i singoli passaggi eseguiti per ogni Comune:

- Si ricava il dato DUSAF del singolo Comune, grazie ad una semplice operazione di “Clip” dal dato regionale:

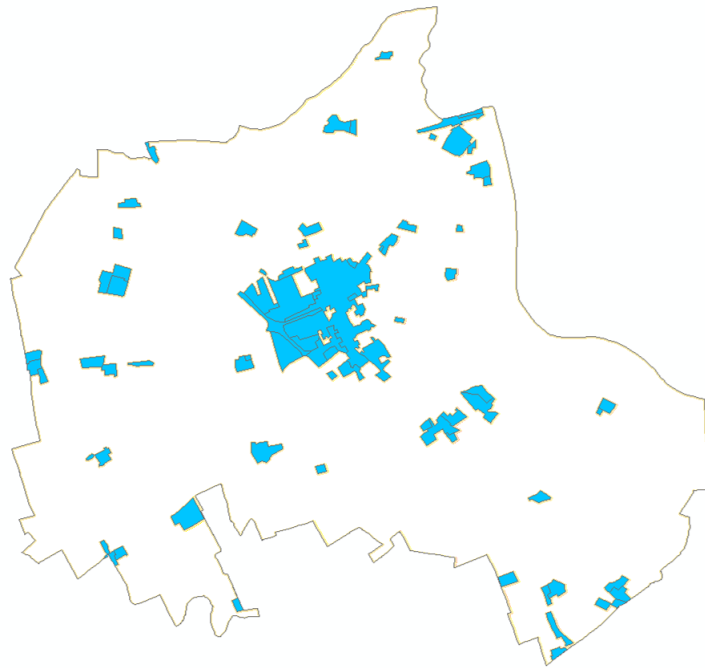


Figura 23: Comune di Maleo, dato DUSAF 1.0. Da notare come la frammentazione che lo caratterizza sia notevole

Come già spiegato in precedenza, occorre che vengano definiti e distinti tra loro il nucleo compatto e le varie aree di urbanizzato collocate esternamente ad esso:

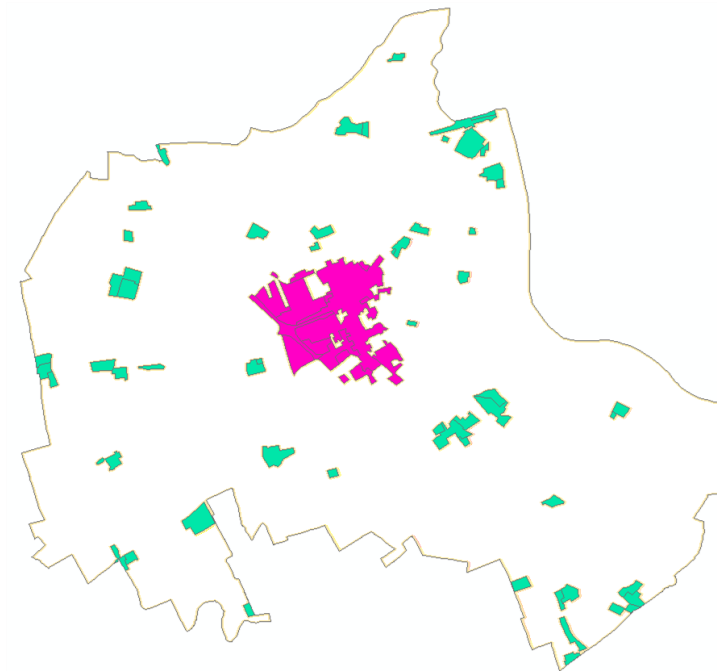


Figura 24: Comune di Maleo, dato DUSAF 1.0. Il nucleo comunale è rappresentato in viola

- Si procede con l'operazione "Dissolve", ovvero la fusione di tutte quelle geometrie che possiedono almeno un punto in Comune tra loro, operazione ovviamente necessaria per l'ottenimento del baricentro del nucleo compatto comunale, ma non solo: in fase di studio ed applicazione di SPX in questo lavoro di Tesi, si è visto come tale operazione si sia dimostrata necessaria per il corretto funzionamento della metrica (Rif. APPENDICE 2). A seguire si inseriscono i centroidi di ogni poligono risultante, come mostrato in Figura 26.

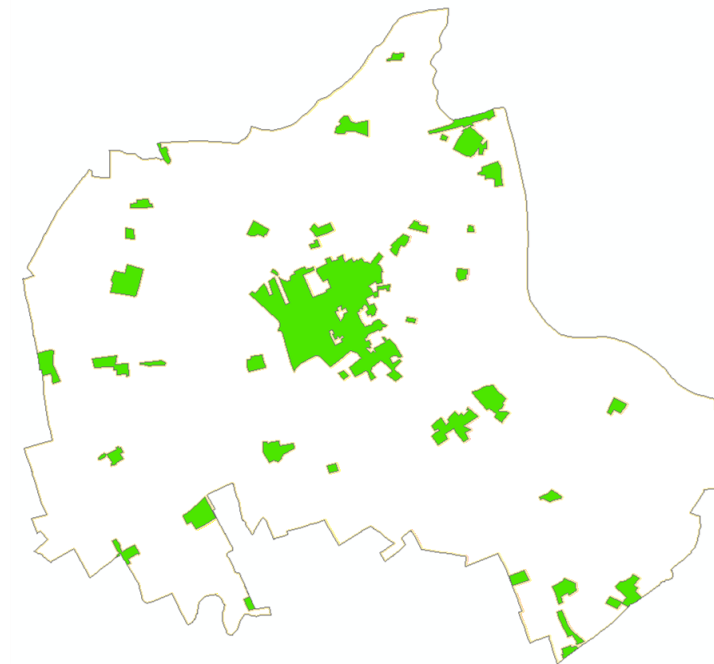


Figura 25: Comune di Maleo, dato DUSAF 1.0. Si noti come l'operazione di "Dissolve" abbia fuso tra loro tutte le geometrie confinanti fra loro

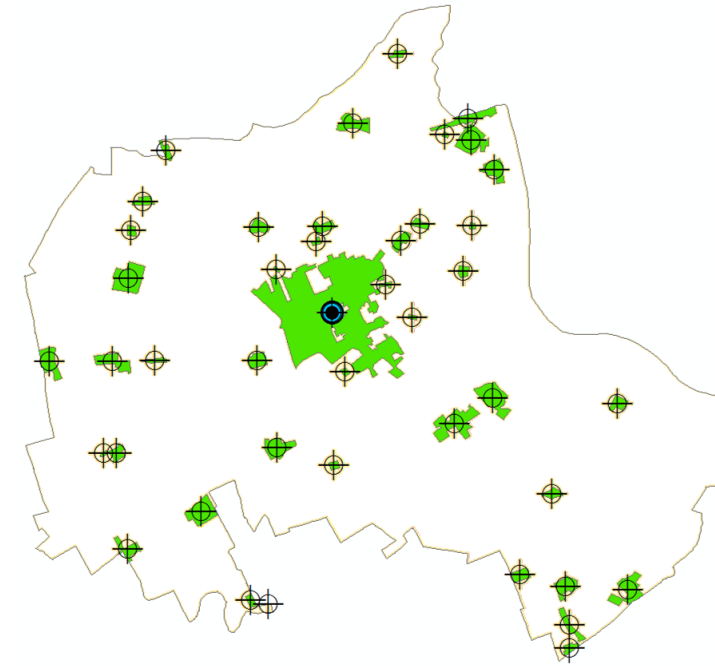


Figura 26: Comune di Maleo, dato DUSAF 1.0. Le croci simboleggiano i centroidi del nucleo compatto e delle geometrie esterne ad esso, rispettivamente

- A questo punto, grazie al già visto comando “**Generate Near Table**” è possibile ottenere tutte le distanze dei baricentri rispetto a quello del nucleo compatto dissolto caratteristico del Comune analizzato. Combinando le distanze così ottenute con la somma delle aree di tutte le geometrie, attraverso l’utilizzo di un semplice foglio di calcolo, si ottiene il valore dell’indice SPX.

Tabella 9: Comune di Maleo, dato DUSAF 1.0. Ogni riga sintetizza la minor distanza tra la geometria *i-esima* esterna al nucleo (identificata dal proprio codice, in colonna 'IN_FID') e il nucleo compatto dissolto, codice 0, colonna 'NEAR_FID'

IN_FID	NEAR_FID	NEAR_DIST [m]	Somma Aree [m ²]	Somma Distanze [m]	Raggio cerchio [m]	SPX ₁₉₉₉ [-]
0	0	3.601	1.450.691	77.679	679,5	114,3
1	0	3.437				
2	0	2.616				
3	0	2.618				
4	0	3.151				
5	0	3.550				
6	0	2.827				
7	0	2.737				
8	0	2.084				
9	0	2.497				
10	0	1.336				
11	0	2.350				
12	0	2.251				
13	0	1.276				
14	0	1.447				
15	0	2.625				
16	0	1.595				
17	0	530				
18	0	1.608				
19	0	1.969				
20	0	777				
21	0	2.515				
22	0	702				
23	0	529				
24	0	621				
25	0	1.204				
26	0	1.809				
27	0	2				
28	0	637				
29	0	869				
30	0	1.902				
31	0	1.442				
32	0	758				
33	0	1.093				
34	0	988				
35	0	1.922				
36	0	1.892				
37	0	2.036				
38	0	1.847				
39	0	1.945				
40	0	1.666				
41	0	2.077				
42	0	2.341				

Si esegue tale operazione per tutti i Comuni in tutti gli istanti temporali scelti. Per il Comune di Maleo, qui preso in esempio, sono stati ottenuti i seguenti valori di SPX:

Tabella 10: Valore dell'indice SPX per il Comune di Maleo nei tre istanti temporali considerati

SPX ₁₉₉₉ [-]	SPX ₂₀₀₇ [-]	SPX ₂₀₁₂ [-]
114,3	115,8	117,6

Come si può ben vedere dai risultati ottenuti in tabella, l'indicatore mostra un chiaro segnale di crescita, indicando pertanto come Maleo tenda sempre più a frammentarsi; si deduce quindi che le nuove aree urbanizzate, classificate come 11 o 12 dal DUSAF, siano state realizzate non in adiacenza rispetto a quelle già esistenti, andando perciò ad aggravare eventuali fenomeni di *sprinkling* (Figura 27).

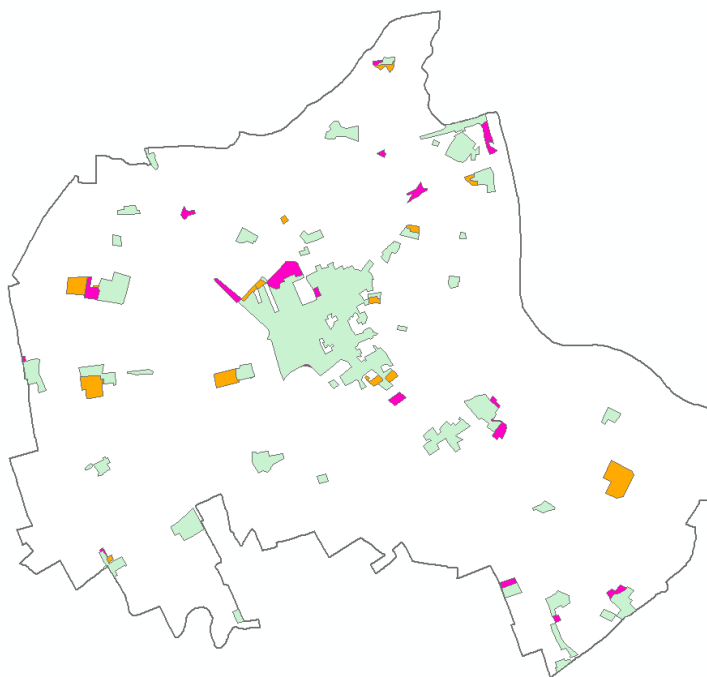


Figura 27: Comune di Maleo, in verde DUSAF 1.0, in viola le nuove aree realizzate tra il 1999 e il 2007, mentre in arancione quelle realizzate tra il 2007 e il 2012

4

ANALISI DEI RISULTATI

Come visto nel Paragrafo 3.1, la Provincia di Lodi vede nell'agricoltura una componente fondamentale per la propria economia, non a caso il 70% dell'intero territorio è classificato come classe 2 dal DUSAF.

È importante perciò considerare il contributo incisivo che essa comporta nei fenomeni di frammentazione territoriale, o meglio, non l'esistenza di una particolare coltivazione, ma la presenza "a macchia di leopardo" di piccoli e medi insediamenti agricoli come le cascine, classificate come aree antropizzate.

Questa particolare condizione, unita allo sviluppo di zone industriali più o meno distanti dai nuclei compatti dei vari Comuni, può favorire la nascita, o il rafforzamento, di fenomeni di *sprinkling*, dannosi per l'intera collettività in quanto su di essa inciderebbero una serie di costi economici (Rif. Capitolo 5: IMPATTO ECONOMICO DELLA NUOVA FRAMMENTAZIONE URBANA).

Questa tipologia di urbanizzazione sparsa e non coesa causa un totale cambiamento nell'integrità del paesaggio e di conseguenza la mancanza di una vera e propria identità.

Una prima idea di questa moltitudine di aree urbanizzate la si può avere analizzando in dettaglio la Figura 28, la quale rappresenta, a scala provinciale, la densità di urbanizzato su ettaro.

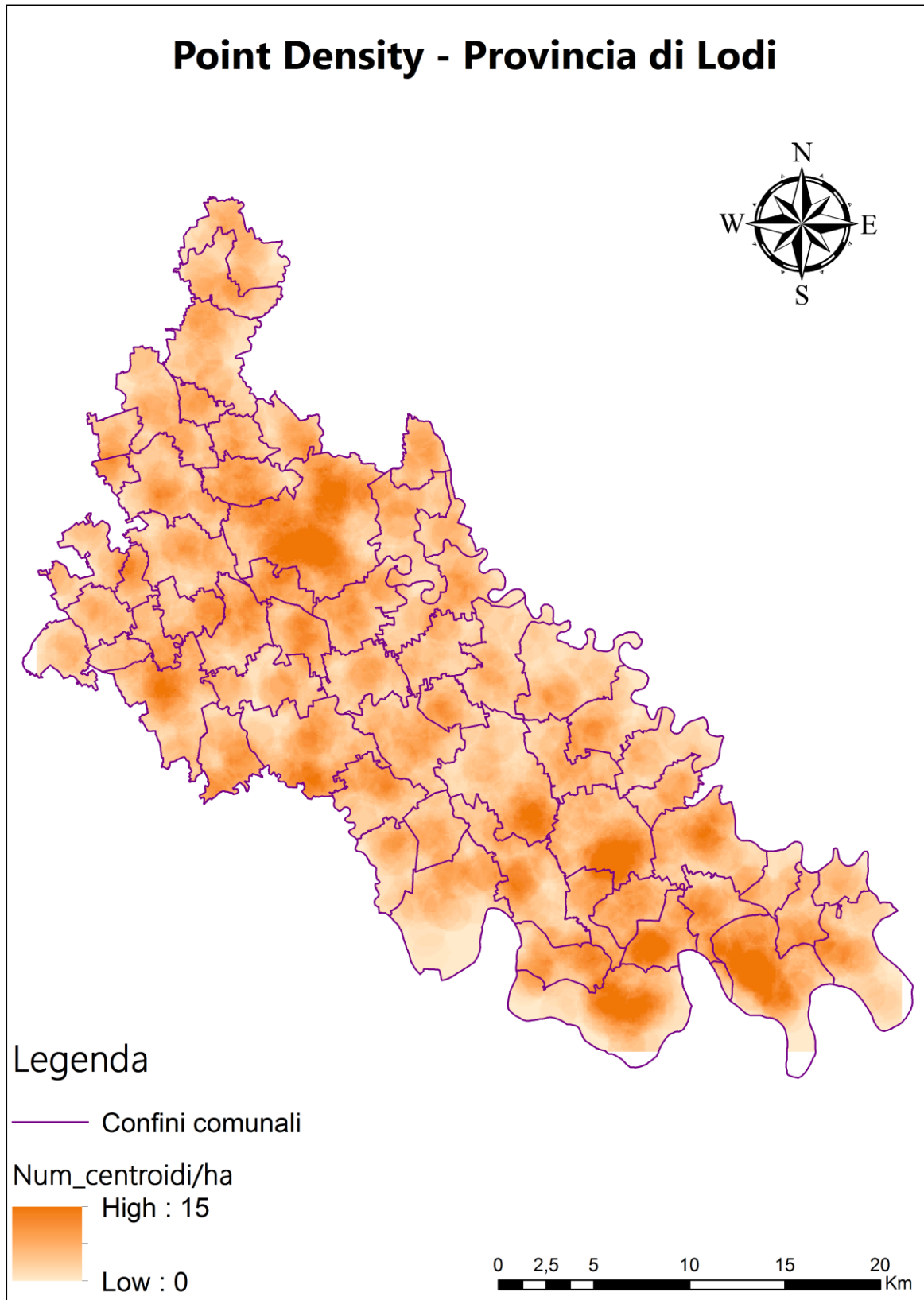


Figura 28: Provincia di Lodi, dato DUSAF 4. Numero di centroidi di ogni area urbanizzata sul singolo ettaro (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori)

Escludendo Lodi, si nota come i Comuni meridionali risultino quelli più dotati di aree classificate come 11 e 12 dalla banca dati DUSAF sul singolo ettaro; probabilmente la presenza del fiume Po influisce sulla modalità di urbanizzazione dei Comuni stessi.

Nei paragrafi a seguire si analizzano i risultati ottenuti con gli indicatori utilizzati in questo elaborato di Tesi, inizialmente a carattere generale, per poi approfondire i Comuni più interessanti e significativi.

4.1 RISULTATI INDICE SPX

Vengono qui riportati i valori dell'indice SPX al 1999 per tutti i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi:

Tabella 11: Indice SPX al 1999 e superfici dei 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi

Comune	Sup. comunale [ha]	Sup. antropizzata 1999 [ha]	Sup. antropizzata 1999 [%]	SPX ₁₉₉₉ [-]
ABBADIA CERRETO	621,34	23,83	3,83%	23,6
BERTONICO	2.024,22	169,52	8,37%	54,4
BOFFALORA D'ADDA	833,10	50,48	6,06%	42,9
BORGHETTO LODIGIANO	2.352,52	199,99	8,50%	138,1
BORGO SAN GIOVANNI	764,36	88,16	11,53%	66,8
BREMBIO	1.686,56	107,21	6,36%	85,7
CAMAIRAGO	1.285,92	55,41	4,31%	80,8
CASALETTO LODIGIANO	991,70	71,58	7,22%	57,5
CASALMAIOCCO	473,06	79,93	16,90%	11,1
CASALPUSTERLENGO	2.560,47	387,96	15,15%	101,7
CASELLE LANDI	2.602,64	119,27	4,58%	273,1
CASELLE LURANI	756,95	66,40	8,77%	42,5
CASTELNUOVO BOCCA D'ADDA	2.043,51	100,66	4,93%	133,5
CASTIGLIONE D'ADDA	1.311,38	128,74	9,82%	47,8
CASTIRAGA VIDARDO	526,48	72,81	13,83%	26,6
CAVACURTA	705,58	43,76	6,20%	31,3
CAVENAGO D'ADDA	1.605,43	114,71	7,15%	88,2
CERVIGNANO D'ADDA	411,35	40,65	9,88%	15,5
CODOGNO	2.086,69	436,45	20,92%	79,8
COMAZZO	1.268,43	61,35	4,84%	85,3
CORNEGLIANO LAUDENSE	566,35	102,56	18,11%	37,1
CORNO GIOVINE	982,23	63,56	6,47%	92,1
CORNOVECCHIO	652,75	22,76	3,49%	67,4
CORTE PALASIO	1.562,66	85,37	5,46%	82,2
CRESPATICA	705,14	78,96	11,20%	22,3
FOMBIO	745,67	129,23	17,33%	38,7
GALGAGNANO	597,90	37,13	6,21%	39,0
GRAFFIGNANA	1.075,07	104,42	9,71%	86,8
GUARDAMIGLIO	1.043,93	166,92	15,99%	64,1
LIVRAGA	1.215,74	120,82	9,94%	55,2
LODI	4.141,99	813,44	19,64%	213,8
LODI VECCHIO	1.603,30	177,11	11,05%	48,5
MACCASTORNA	571,11	22,62	3,96%	47,3
MAIRAGO	1.136,62	67,68	5,95%	47,0
MALEO	2.011,76	145,07	7,21%	114,3
MARUDO	422,70	44,04	10,42%	12,3
MASSALENGO	853,47	100,90	11,82%	21,2
MELETI	736,88	32,91	4,47%	114,3
MERLINO	1.089,86	67,17	6,16%	69,0
MONTANASO LOMBARDO	963,27	138,17	14,34%	54,9
MULAZZANO	1.553,88	125,92	8,10%	65,6
ORIO LITTA	990,04	90,65	9,16%	28,6
OSPEDALETTO LODIGIANO	844,32	140,25	16,61%	16,0
OSSAGO LODIGIANO	1.172,16	69,38	5,92%	42,1
PIEVE FISSIRAGA	1.208,59	153,59	12,71%	44,8
SALERANO SUL LAMBRO	429,75	58,91	13,71%	14,7
SAN FIORANO	897,15	84,52	9,42%	75,2
SAN MARTINO IN STRADA	1.308,96	154,61	11,81%	50,4
SAN ROCCO AL PORTO	3.059,46	191,32	6,25%	182,0
SANT'ANGELO LODIGIANO	2.003,98	312,55	15,60%	91,9
SANTO STEFANO LODIGIANO	1.041,92	89,92	8,63%	99,3
SECUGNAGO	669,77	68,76	10,27%	21,9
SENNA LODIGIANA	2.686,60	113,89	4,24%	96,8
SOMAGLIA	2.077,31	209,97	10,11%	107,8
SORDIO	281,89	57,15	20,27%	9,6
TAVAZZANO CON VILLAVESCO	1.623,98	191,68	11,80%	69,5
TERRANOVA DEI PASSERINI	1.123,53	81,34	7,24%	62,4
TURANO LODIGIANO	1.614,30	90,60	5,61%	72,1
VALERA FRATTA	820,85	46,99	5,72%	24,3
VILLANOVA DEL SILLARO	1.384,39	76,85	5,55%	70,5
ZELO BUON PERSICO	1.870,70	158,51	8,47%	59,5

Come è già possibile intuire dai dati emersi nella Tabella 11, si nota la tendenza alla crescita dei valori dell'indice di frammentazione con l'aumento della superficie comunale; per tal motivo si è provato a capire se è effettivamente visibile una relazione tra le due grandezze. Dopo aver plottato i risultati su un grafico, si è scelto di utilizzare come linea di tendenza l'interpolazione lineare, perché visivamente sembra la più adatta per la spiegazione dei dati.

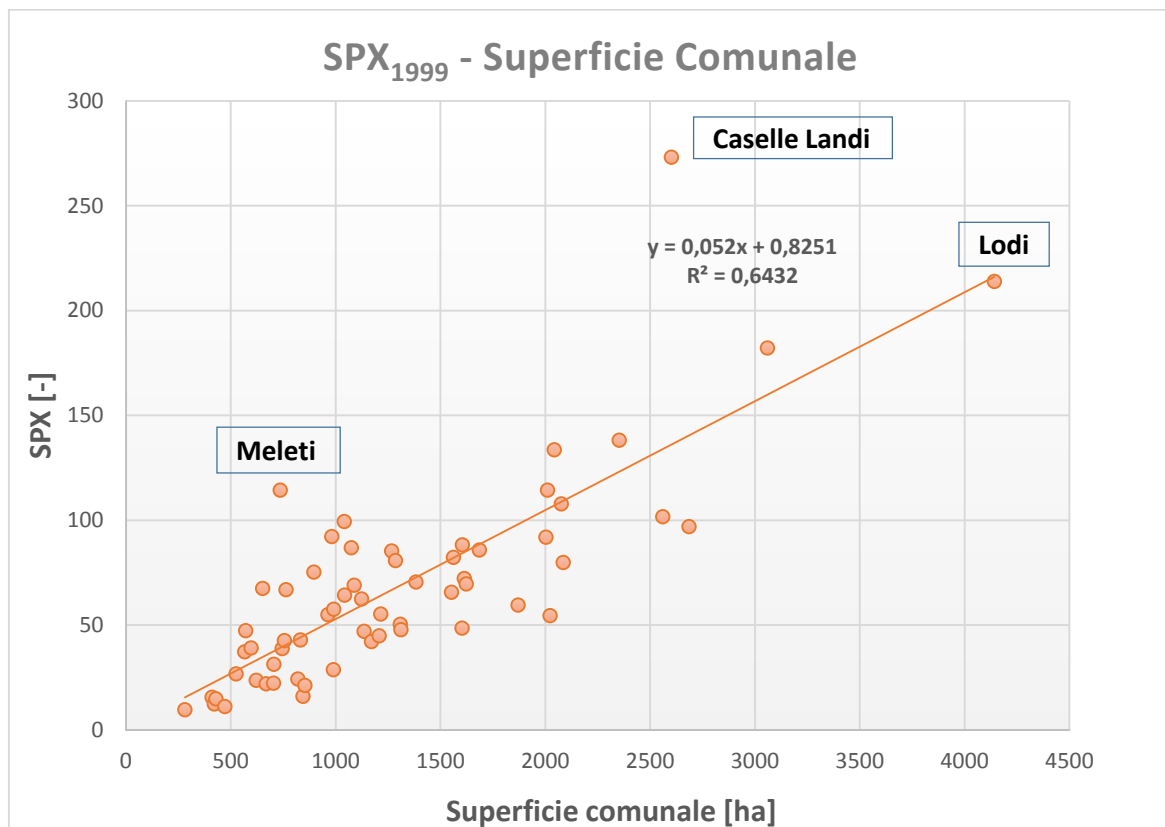


Grafico 1: Indice SPX al 1999 in funzione della superficie comunale

Il Grafico 1 mostra come l'interpolazione lineare spieghi più o meno bene ($R^2 = 0,6432$) come l'indice aumenti al crescere dell'estensione comunale.

Il Comune che presenta il più grande valore di SPX è risultato essere Caselle Landi ($SPX_{1999} = 273,1$), che però è il quarto in termini di superficie totale. Non è da sottovalutare la frammentazione presente all'interno del capoluogo di Provincia, Lodi, che possiede infatti il secondo valore più alto ($SPX_{1999} = 213,8$).

Il Comune di Meleti, pur essendo di piccola estensione areale, si posiziona notevolmente in alto rispetto alla retta di regressione ($SPX_{1999} = 114,3$), diversamente dal comportamento dei Comuni di analoga dimensione.

Si è voluto approfondire se tale indice presentasse una qualche relazione con la superficie antropizzata, in particolare l'insieme delle aree appartenenti alle classi 11 e 12 del DUSAF.

Se il Grafico 2 non mostra apparentemente alcun legame lineare tra le due grandezze ($R^2 = 0,2395$), nel Grafico 3 si vede come comunque SPX tenda a decrescere con l'aumento della percentuale di superficie antropizzata. Ciò è in accordo con il fatto che se un Comune urbanizzasse il 100% della sua estensione, la frammentazione presente tenderebbe a zero e con esso il suo indice SPX.

Pertanto, dal punto di vista del consumo di suolo, un valore basso o in diminuzione nel tempo dell'indice non deve essere interpretato come un segnale positivo nella valutazione di tale problematica.

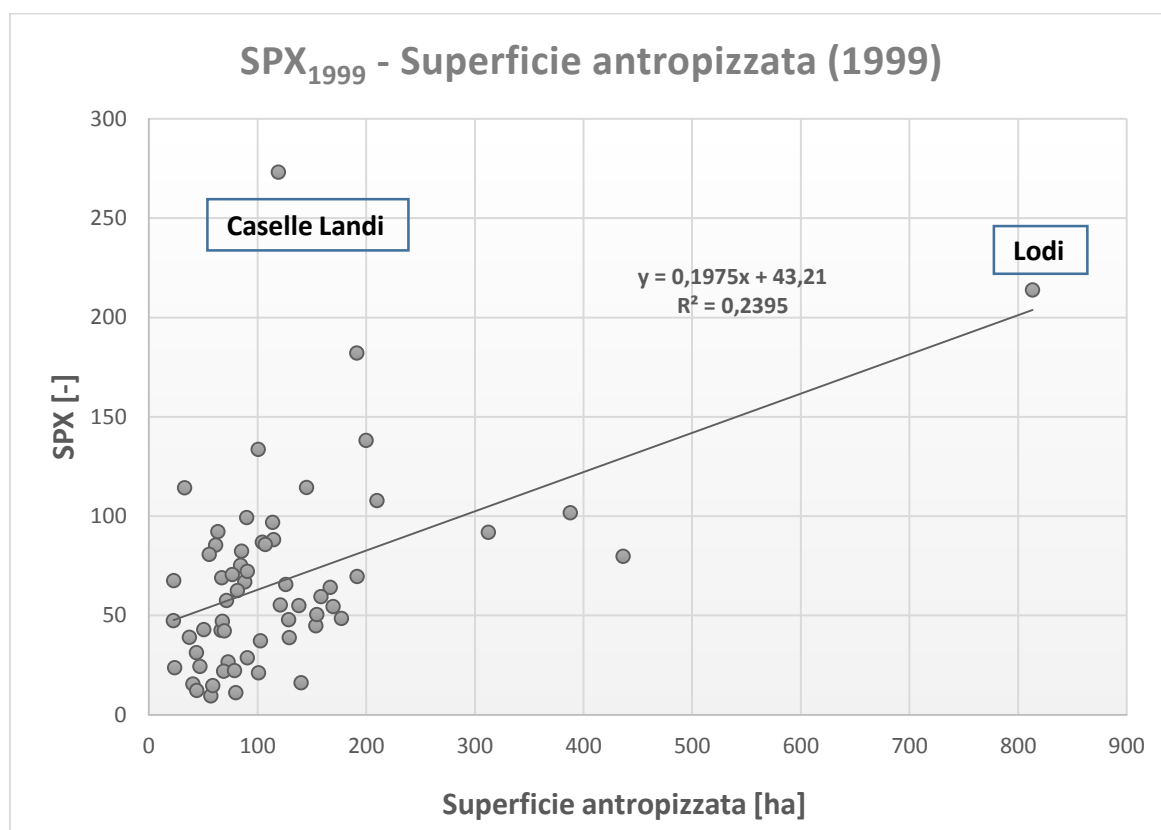


Grafico 2: Indice SPX al 1999 in funzione della superficie antropizzata

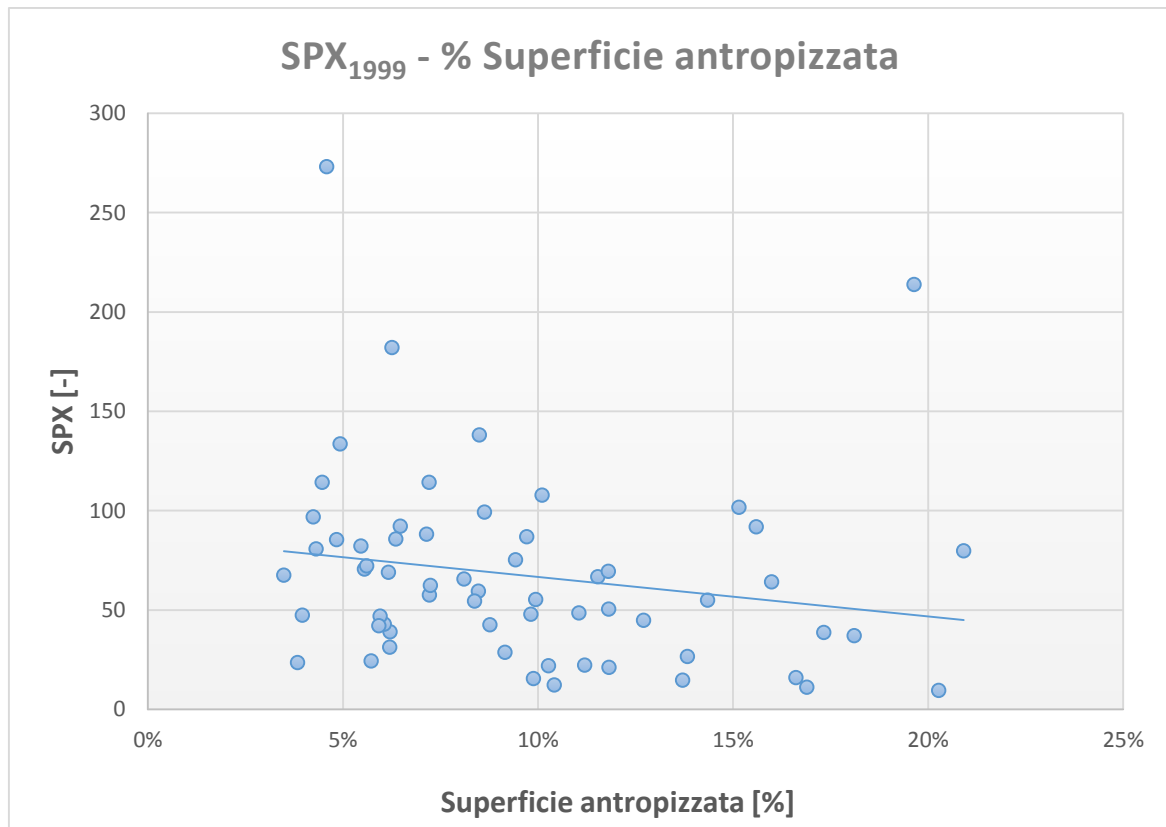


Grafico 3: Indice SPX al 1999 in funzione della percentuale di superficie antropizzata

Il Grafico 4 fornisce una visione d'insieme sull'andamento dell'indice di frammentazione SPX rispetto alla superficie comunale e alle rispettive percentuali di antropizzato.

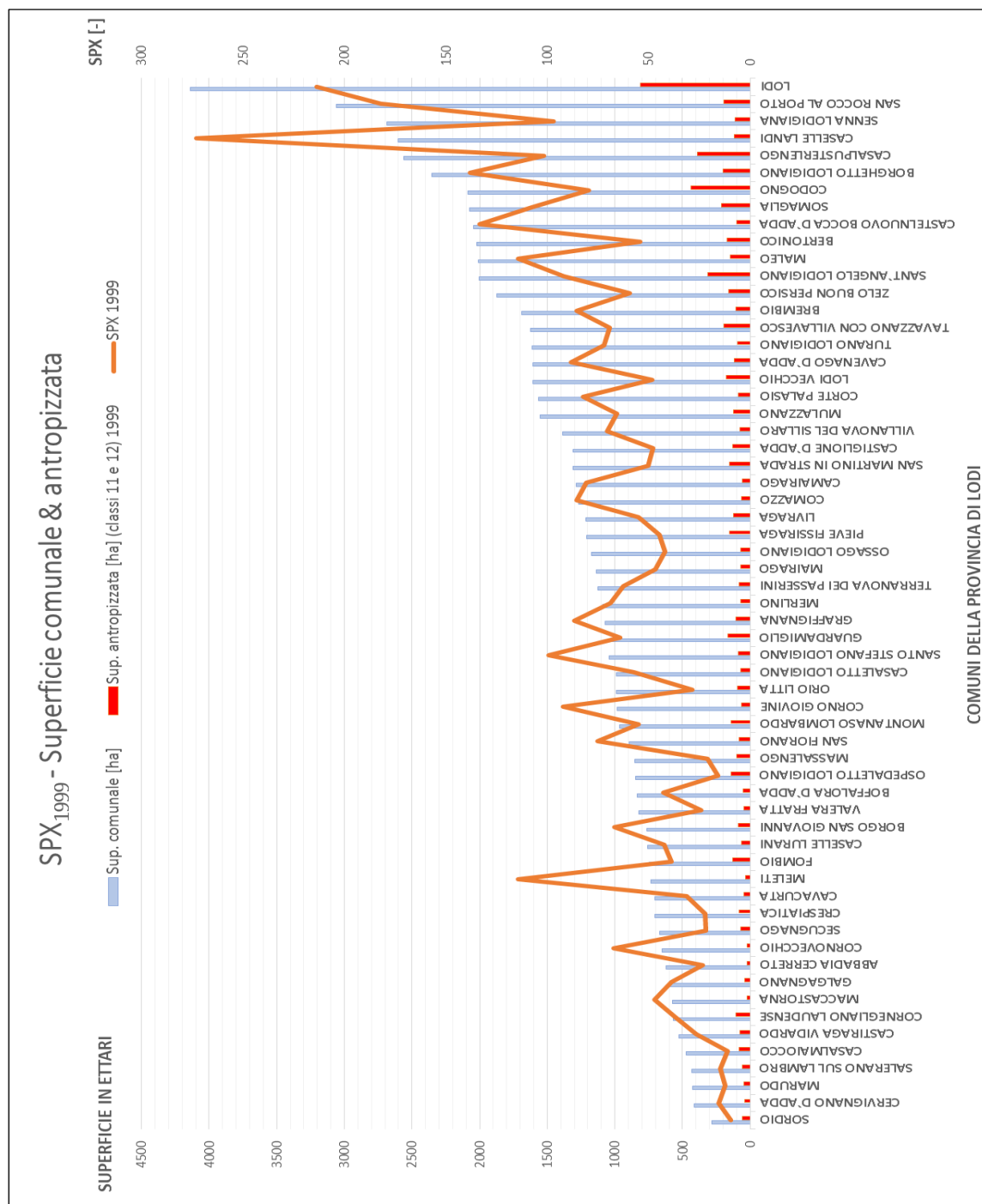


Grafico 4: Indice SPX al 1999, superficie comunale ed antropizzata per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi

Come trattato precedentemente nel Paragrafo 3.4.4, con questo indice è stata quantificata la frammentazione anche per gli istanti temporali 2007 e 2012, anni ai quali si riferiscono le banche dati DUSAF 2.1 e DUSAF 4, e valutate di conseguenza le differenze.

In Tabella 12, sono riportati tutti i valori di SPX, e le loro differenze nel tempo in termini assoluti e percentuali.

Tabella 12: Indice SPX al 1999 e relative variazioni al 2007 e al 2012

Comune	Sup. comunale [ha]	SPX ₁₉₉₉ [-]	SPX ₂₀₀₇ [-]	SPX ₂₀₁₂ [-]	Δ SPX _(1999 + 2012) [-]	Δ SPX _(1999 + 2012) [%]
ABBADIA CERRETO	621,34	23,6	34,9	28,2	4,6	19,7
BERTONICO	2.024,22	54,4	87,0	95,0	40,6	74,6
BOFFALORA D'ADDA	833,10	42,9	42,9	47,4	4,5	10,5
BORGHETTO LODIGIANO	2.352,52	138,1	135,1	127,5	-10,7	-7,7
BORGO SAN GIOVANNI	764,36	66,8	58,8	57,9	-8,9	-13,3
BREMBIO	1.686,56	85,7	77,3	88,4	2,7	3,2
CAMAIRAGO	1.285,92	80,8	78,4	84,3	3,5	4,3
CASALETTO LODIGIANO	991,70	57,5	64,8	57,7	0,1	0,3
CASALMAIOCCO	473,06	11,1	13,3	13,5	2,4	21,7
CASALPUSTERLENGO	2.560,47	101,7	98,5	101,9	0,3	0,3
CASELLE LANDI	2.602,64	273,1	280,1	272,3	-0,9	-0,3
CASELLE LURANI	756,95	42,5	39,3	39,7	-2,8	-6,5
CASTELNUOVO BOCCA D'ADDA	2.043,51	133,5	134,3	132,6	-0,9	-0,7
CASTIGLIONE D'ADDA	1.311,38	47,8	48,4	49,7	2,0	4,1
CASTIRAGA VIDARDO	526,48	26,6	22,6	21,2	-5,4	-20,2
CAVACURTA	705,58	31,3	36,0	43,0	11,7	37,2
CAVENAGO D'ADDA	1.605,43	88,2	85,1	86,5	-1,7	-1,9
CERVIGNANO D'ADDA	411,35	15,5	24,8	24,5	9,0	58,5
CODOGNO	2.086,69	79,8	76,4	73,0	-6,8	-8,5
COMAZZO	1.268,43	85,3	78,6	89,0	3,6	4,3
CORNEGLIANO LAUDENSE	566,35	37,1	40,1	37,6	0,4	1,1
CORNO GIOVINE	982,23	92,1	89,3	96,2	4,0	4,4
CORNOVECCHIO	652,75	67,4	65,0	63,7	-3,8	-5,6
CORTE PALASIO	1.562,66	82,2	80,2	81,5	-0,8	-0,9
CRESPINATA	705,14	22,3	21,1	19,7	-2,6	-11,5
FOMBIO	745,67	38,7	33,9	31,1	-7,7	-19,7
GALGAGNANO	597,90	39,0	36,8	40,1	1,1	2,7
GRAFFIGNANA	1.075,07	86,8	86,3	87,1	0,3	0,3
GUARDAMIGLIO	1.043,93	64,1	60,8	65,9	1,8	2,8
LIVRAGA	1.215,74	55,2	52,1	52,8	-2,4	-4,4
LODI	4.141,99	213,8	198,4	196,6	-17,2	-8,0
LODI VECCHIO	1.603,30	48,5	53,8	66,5	18,0	37,0
MACCASTORNA	571,11	47,3	41,1	35,9	-11,5	-24,2
MAIRAGO	1.136,62	47,0	52,9	46,7	-0,3	-0,6
MALEO	2.011,76	114,3	115,8	117,6	3,3	2,9
MARUDO	422,70	12,3	14,5	14,4	2,1	16,9
MASSALENGO	853,47	21,2	24,2	23,6	2,4	11,4
MELETI	736,88	114,3	113,8	101,9	-12,4	-10,8
MERLINO	1.089,86	69,0	71,1	75,0	6,0	8,6
MONTANASO LOMBARDO	963,27	54,9	53,4	55,4	0,5	0,9
MULAZZANO	1.553,88	65,6	71,0	67,1	1,5	2,3
ORIO LITTA	990,04	28,6	32,1	33,1	4,4	15,5
OSPEDALETTO LODIGIANO	844,32	16,0	18,1	19,8	3,8	23,7
OSSAGO LODIGIANO	1.172,16	42,1	41,2	40,4	-1,7	-4,1
PIEVE FISSIRAGA	1.208,59	44,8	42,9	41,1	-3,7	-8,3
SALERANO SUL LAMBRO	429,75	14,7	12,7	12,3	-2,4	-16,1
SAN FIORANO	897,15	75,2	71,8	73,0	-2,2	-3,0
SAN MARTINO IN STRADA	1.308,96	50,4	52,4	52,4	2,0	3,9
SAN ROCCO AL PORTO	3.059,46	182,0	151,2	160,1	-21,9	-12,0
SANT'ANGELO LODIGIANO	2.003,98	91,9	91,6	97,8	5,9	6,4
SANTO STEFANO LODIGIANO	1.041,92	99,3	102,9	105,2	6,0	6,0
SECUGNAGO	669,77	21,9	19,2	26,6	4,8	21,8
SENNA LODIGIANA	2.686,60	96,8	92,9	100,0	3,2	3,3
SOMAGLIA	2.077,31	107,8	88,1	97,1	-10,6	-9,9
SORDIO	281,89	9,6	13,5	14,7	5,2	53,9
TAVAZZANO CON VILLAVESCO	1.623,98	69,5	61,1	61,4	-8,1	-11,6
TERRANOVA DEI PASSERINI	1.123,53	62,4	75,6	69,2	6,8	10,9
TURANO LODIGIANO	1.614,30	72,1	78,9	82,6	10,5	14,5
VALERA FRATTA	820,85	24,3	24,1	26,5	2,2	9,2
VILLANOVA DEL SILLARO	1.384,39	70,5	77,0	67,4	-3,1	-4,4
ZELO BUON PERSICO	1.870,70	59,5	80,4	74,9	15,5	26,0

Analogamente ai dati del 1999, sono state compiute le medesime considerazioni per i valori dell'indice calcolati al 2007 e al 2012 rispetto alla superficie comunale. Da notare come il coefficiente R^2 si mantenga sostanzialmente costante nel tempo.

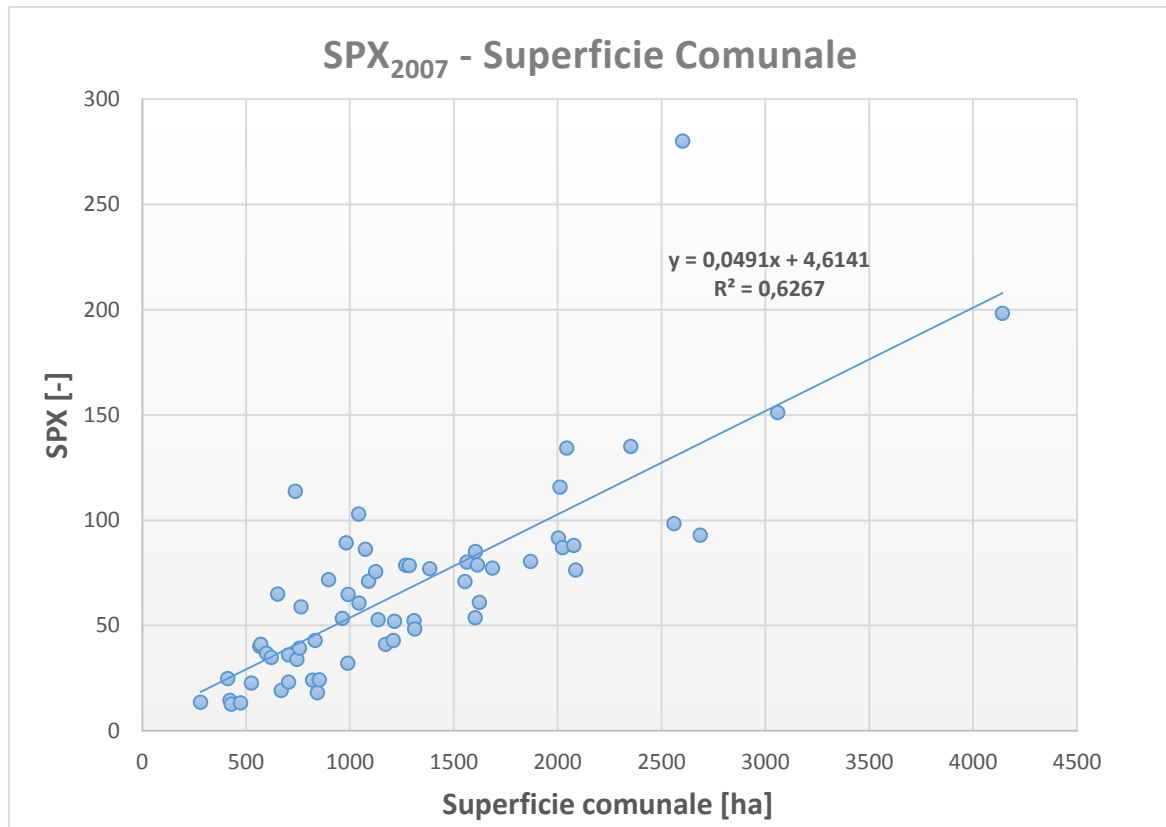


Grafico 5: Indice SPX al 2007 in funzione della superficie comunale

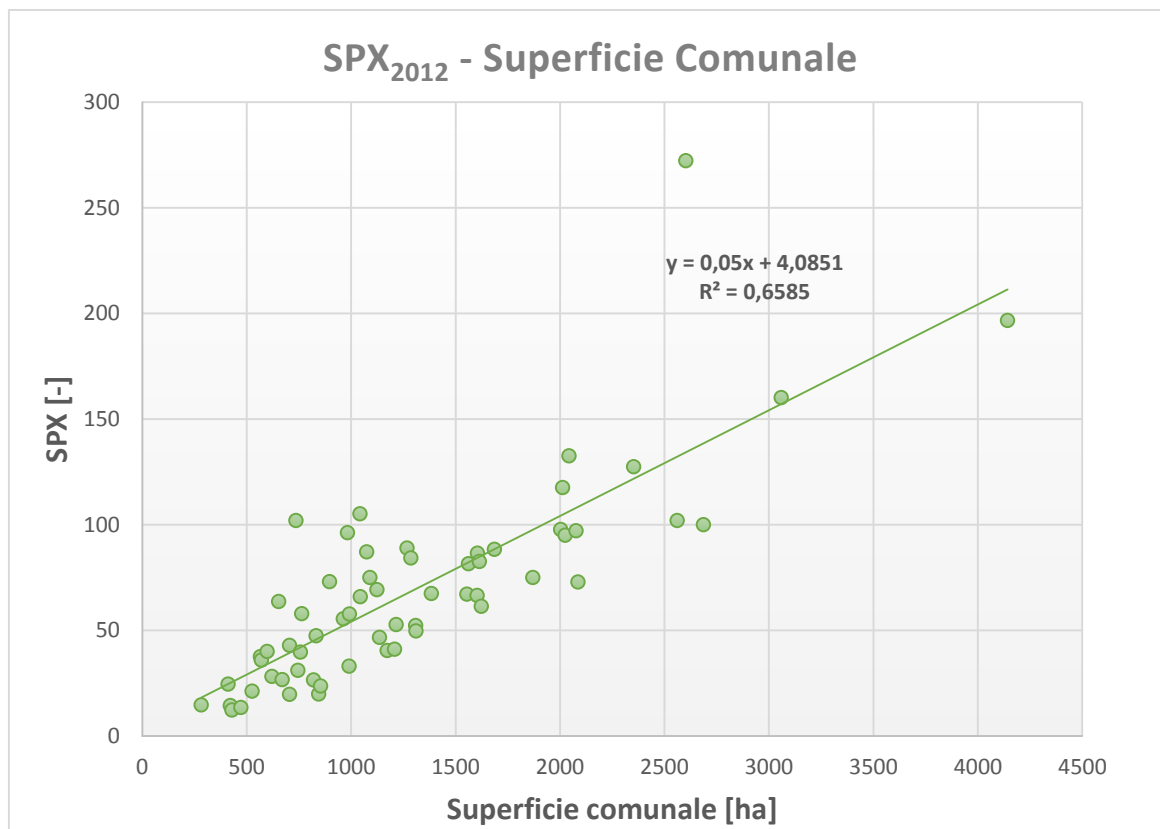


Grafico 6: Indice SPX al 2012 in funzione della superficie comunale

Considerando i valori agli estremi temporali, quindi SPX_{1999} e SPX_{2012} , è possibile farne delle valutazioni complessive sulle differenze di frammentazione di ogni Comune, precisamente su un arco temporale di 13 anni, perciò un periodo abbastanza lungo per eseguire delle analisi sul consumo di suolo e sulle tendenze in atto.

Osservando le due linee di regressione lineare nel Grafico 7, si può notare come la retta riferita al 2012 tenda a stare sopra, seppur di poco, quella del 1999 per i Comuni di grandezza medio piccola; comportamento opposto per i Comuni di grande estensione, dove questa volta è la retta riferita al 1999 a soprastare quella del 2012. Da ciò si può dedurre come, tra il 1999 e il 2012, i piccoli Comuni abbiano attuato politiche di pianificazione territoriale volte a favorire un aumento della frammentazione delle aree antropizzate, a differenza dei grandi i quali, con una riduzione dell'indice SPX, mostrano una tendenza verso la compattazione.

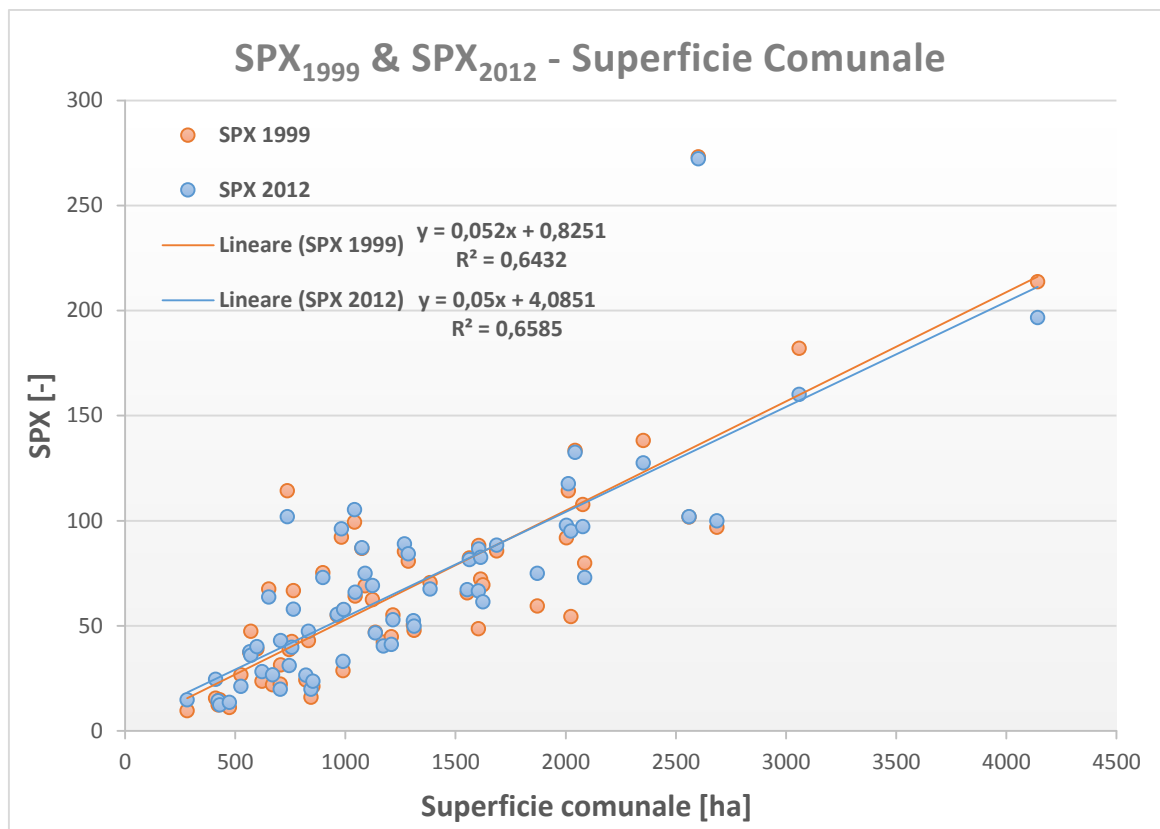


Grafico 7: Indice SPX al 1999 ed al 2012 in funzione della superficie comunale

I Comuni con delle forti variazioni percentuali positive di SPX sono:

- Sordio (+53,9%);
- Cervignano d'Adda (+58,5%);
- Cavacurta (+37,2%);
- Lodi Vecchio (+37,0%);
- Bertonico (+74,6%).

Quest'ultimo però rappresenta un caso molto particolare perché risulta fortemente influenzato dalla completa dismissione, e quindi cambio nella destinazione e classificazione d'uso del suolo, di una imponente area industriale che al 1999 apparteneva alla classe 12 del DUSAF.

Quelli con forti variazioni percentuali negative risultano invece:

- Castiraga Vidardo (-20,2%);
- Maccastorna (-24,2%);

- Fombio (-19,7%);
- Salerano sul Lambro (-16,1%);
- Borgo San Giovanni (-13,3%);
- San Rocco al Porto (-12,0%), il secondo più esteso dell'intera Provincia.

Per dare una visione generale sul comportamento dei 61 Comuni si può notare come 36 di essi, cioè il 59% del totale, abbia avuto una variazione percentuale positiva dell'indice e quindi una tendenza, più o meno accentuata, alla frammentazione; di conseguenza il restante 41%, mostra una variazione percentuale negativa nell'intervallo temporale considerato, e quindi una propensione alla compattazione.

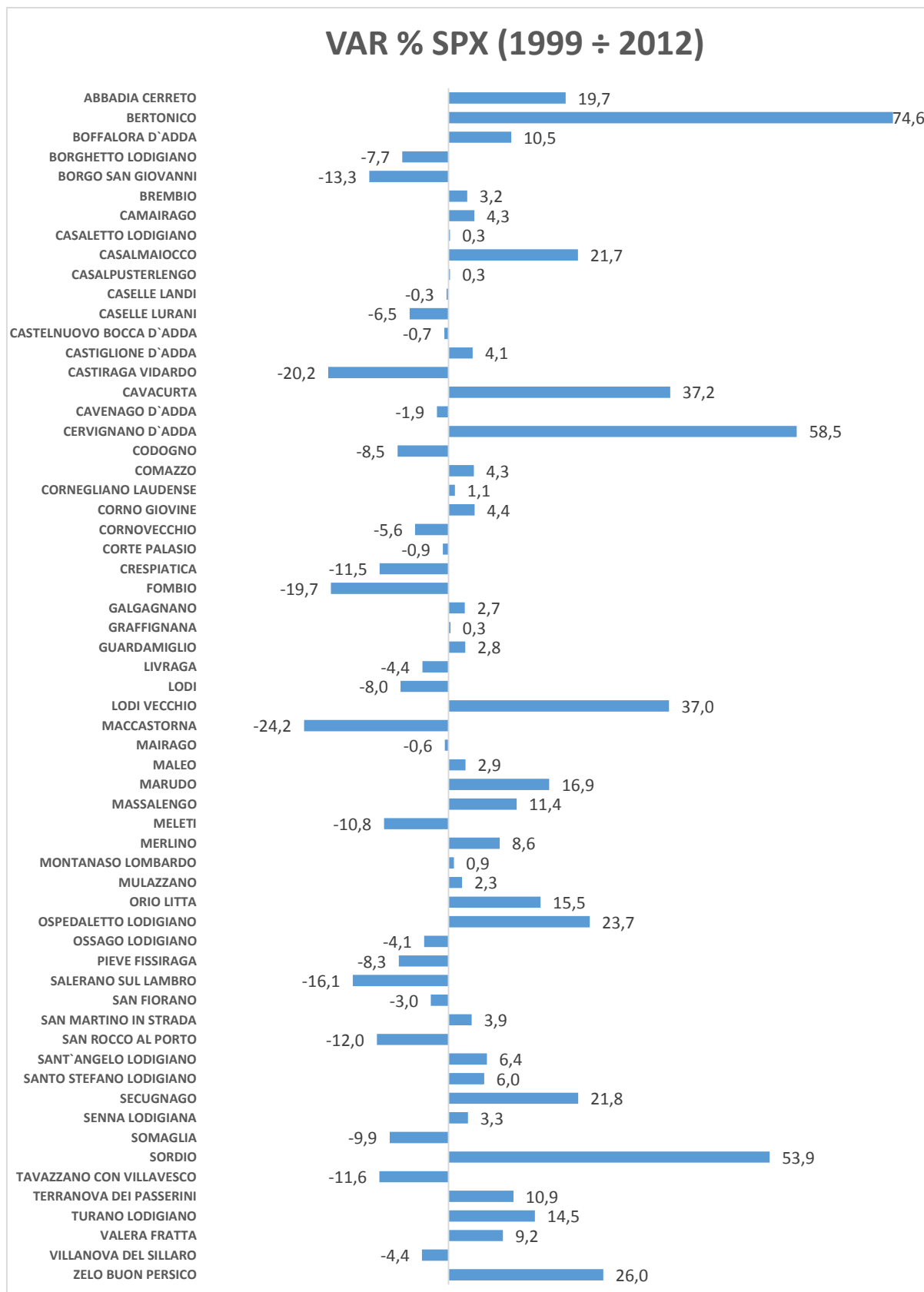


Grafico 8: Variazione percentuale SPX nell'intervallo temporale 1999 ÷ 2012 per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi

Al fine di poter avere una visione d'insieme, per i vari Comuni sono stati identificati quattro valori soglia dell'indice SPX equidistanti fra loro, in maniera tale da poter avere cinque categorie in cui raggruppare i comportamenti simili:

1. **SPX < 25** → **Frammentazione bassa**
2. **25 < SPX < 50** → **Frammentazione medio-bassa**
3. **50 < SPX < 75** → **Frammentazione media**
4. **75 < SPX < 100** → **Frammentazione medio-alta**
5. **SPX > 100** → **Frammentazione alta**

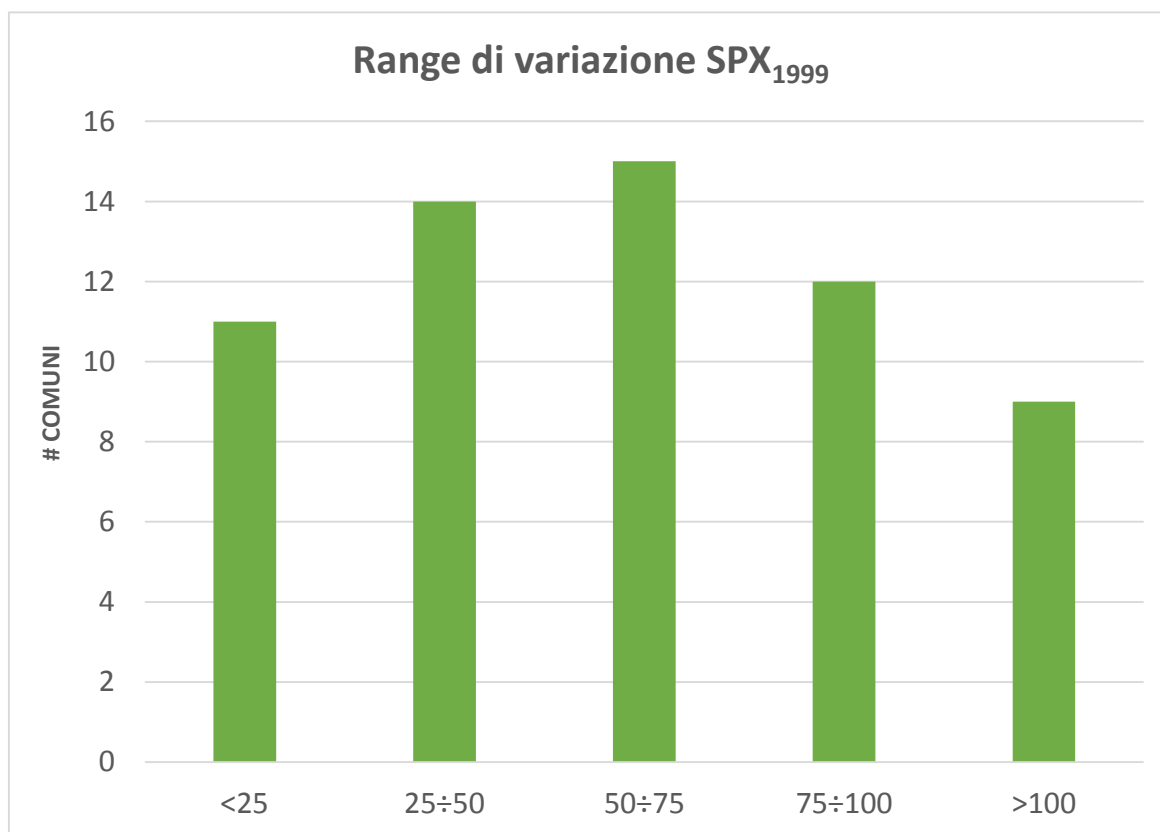


Grafico 9: Classificazione dei Comuni in base al valore di SPX al 1999

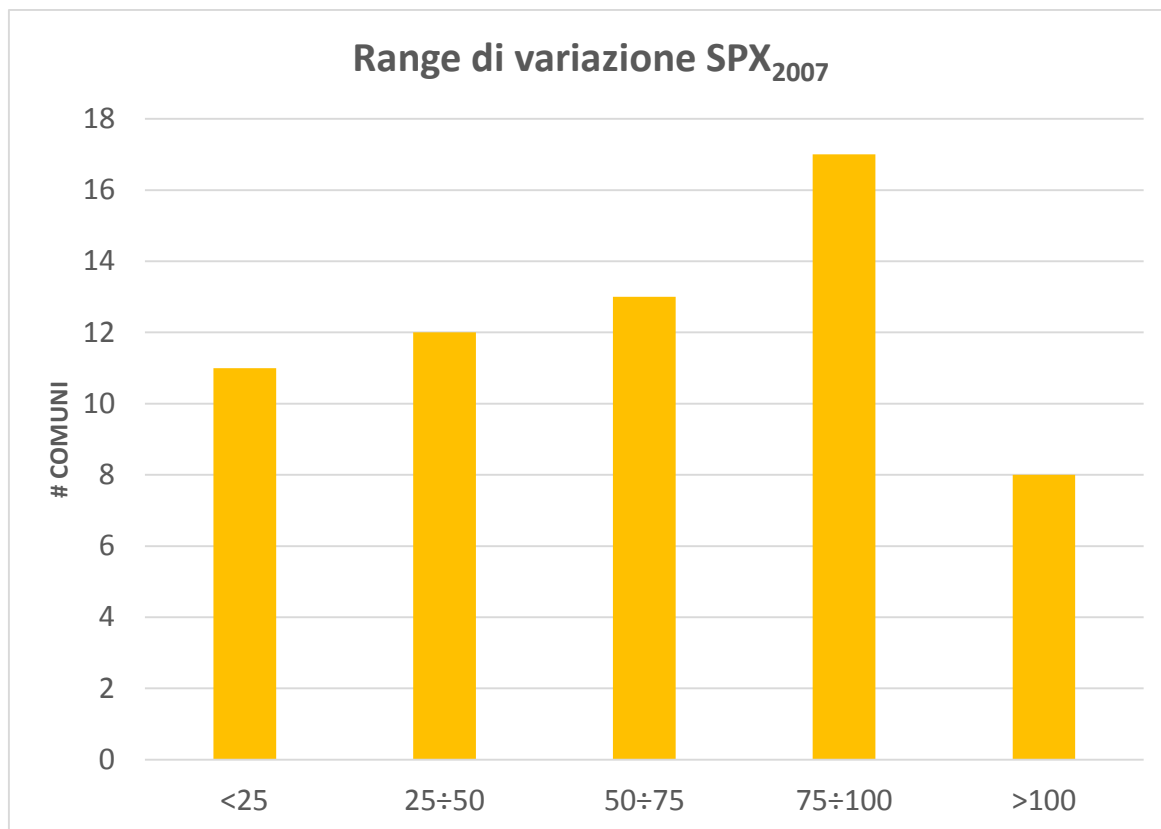


Grafico 10: Classificazione dei Comuni in base al valore di SPX al 2007

I primi due istogrammi sono molto differenti fra loro, infatti si vede chiaramente come il picco di Comuni appartenenti ad una categoria sia traslato dalla classe “frammentazione media” (15 Comuni al 1999, 13 al 2007) a quella “medio-alta” (12 prima, 17 poi), con una riduzione del numero nelle classi 25 ÷ 50 (da 14 a 12 Comuni), 50 ÷ 75 e >100 (da 9 a 8).

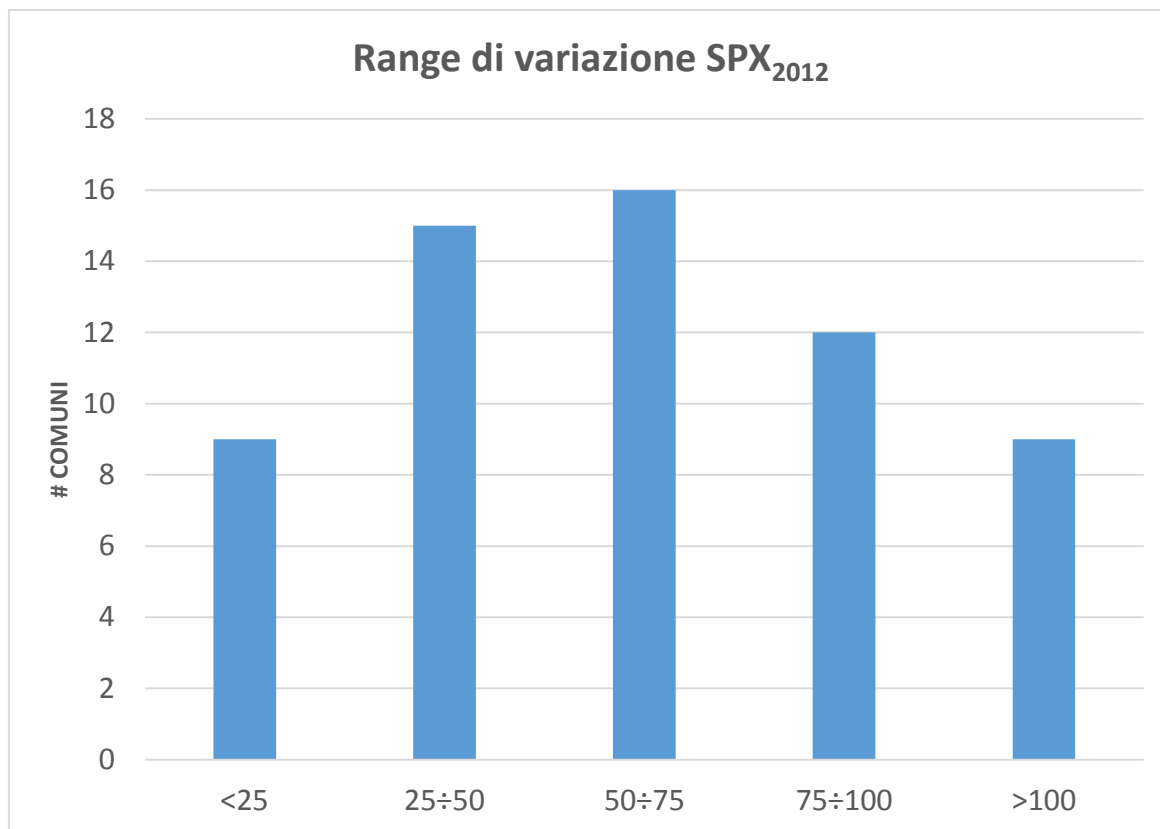


Grafico 11: Classificazione dei Comuni in base al valore di SPX al 2012

Il range di variazione SPX al 2012, Grafico 11, mostra invece una forma che ricorda subito quella riferita al 1999, con una importante differenza: sono diminuiti i Comuni (da 11 a 9) con una frammentazione bassa ($SPX < 25$) a discapito della crescita in numero per quelle rimanenti, eccezione fatta per la quarta e la quinta classe.

Pertanto si può affermare come in tredici anni la Provincia di Lodi abbia teso sempre più verso una condizione di frammentazione paesaggistica delle aree antropizzate, requisito necessario ma non sufficiente per lo sviluppo di eventuali fenomeni di *sprinkling*.

Per una efficace rappresentazione visiva della variazione dell'indice SPX nei tre istanti temporali, sempre suddiviso nelle cinque categorie precedenti, vengono proposte le tre seguenti mappe raffiguranti tutti i Comuni appartenenti alla Provincia.

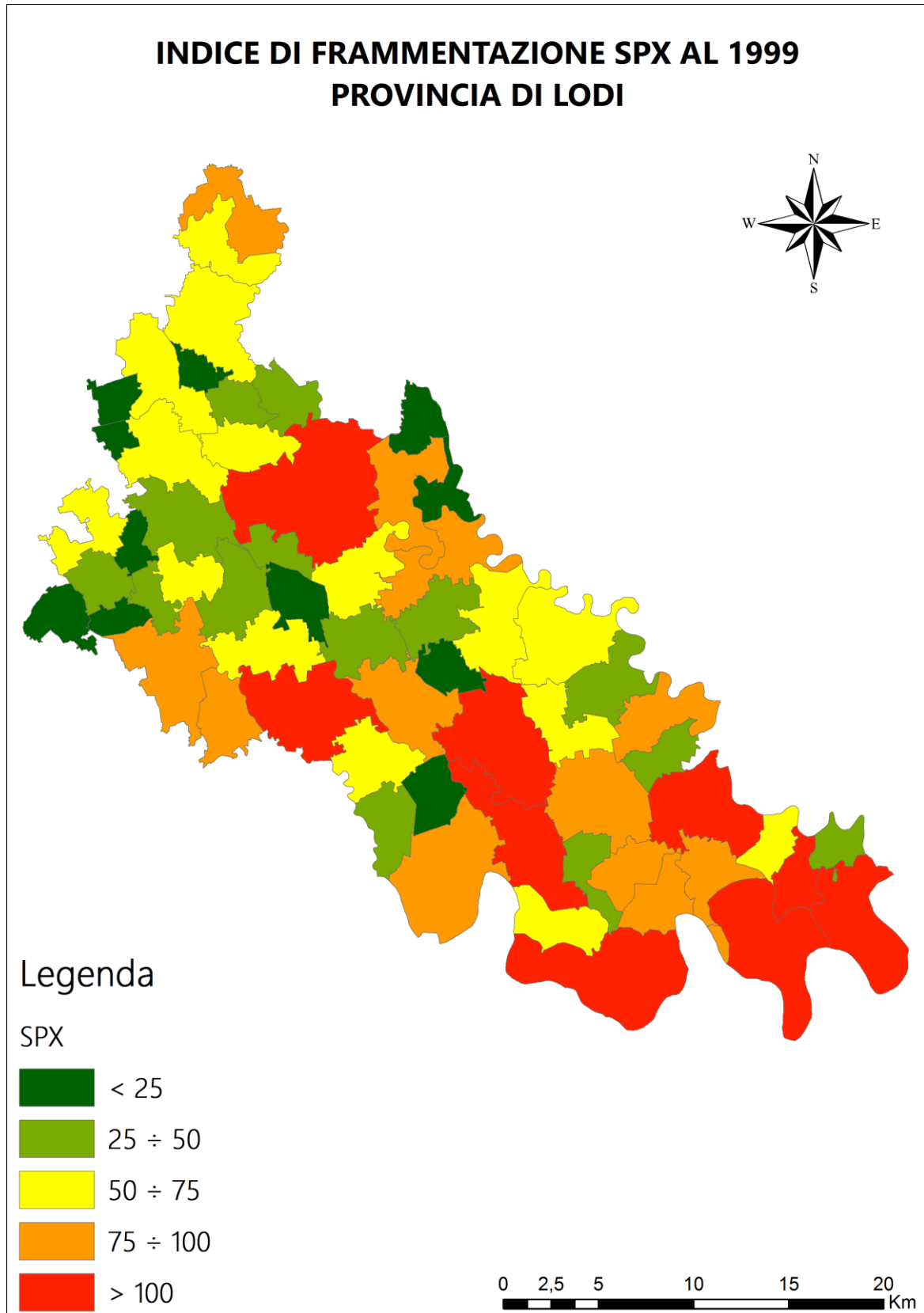


Figura 29: Indice di frammentazione SPX al 1999 - Provincia di Lodi (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori)

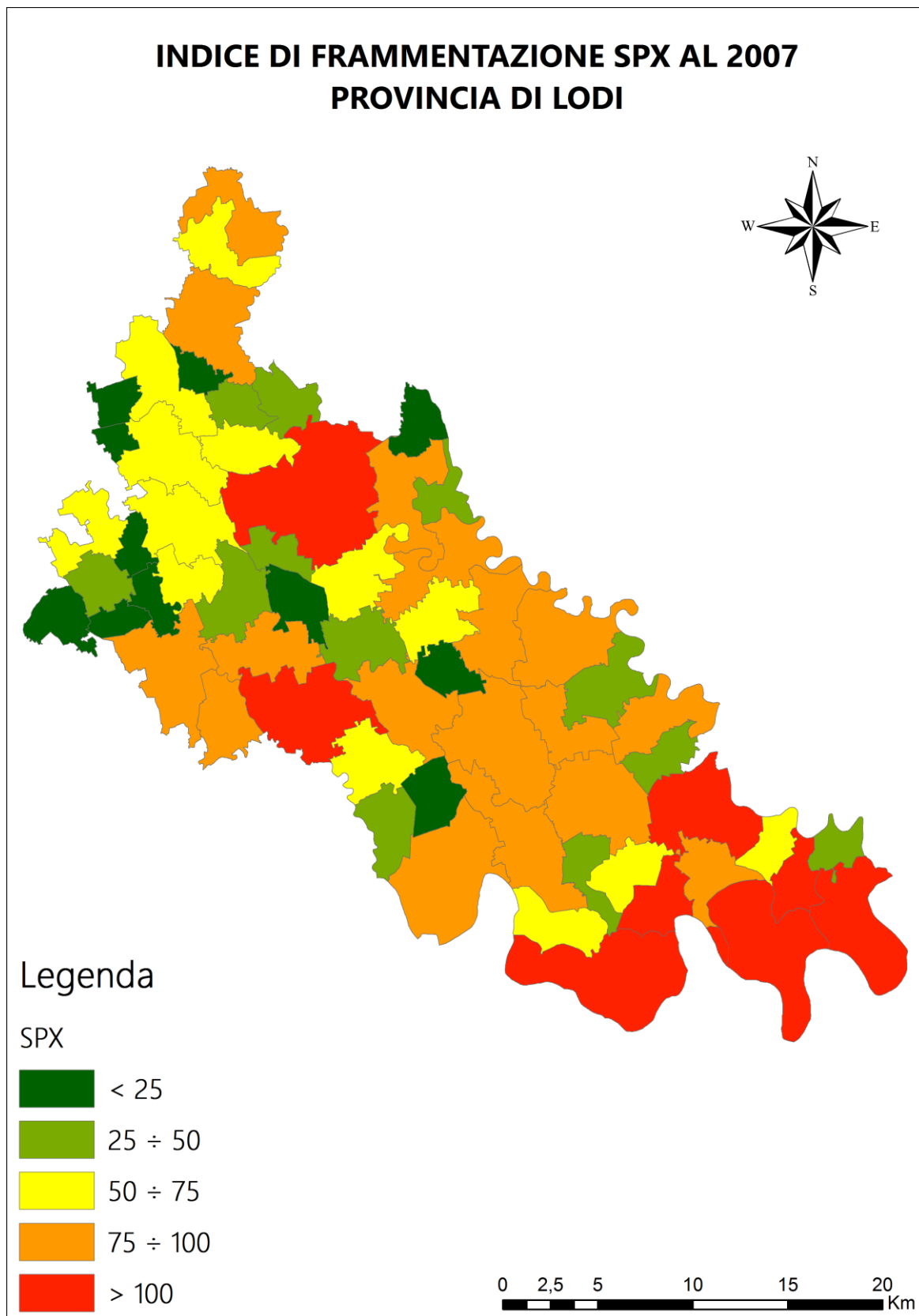


Figura 30: Indice di frammentazione SPX al 2007 - Provincia di Lodi (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori)

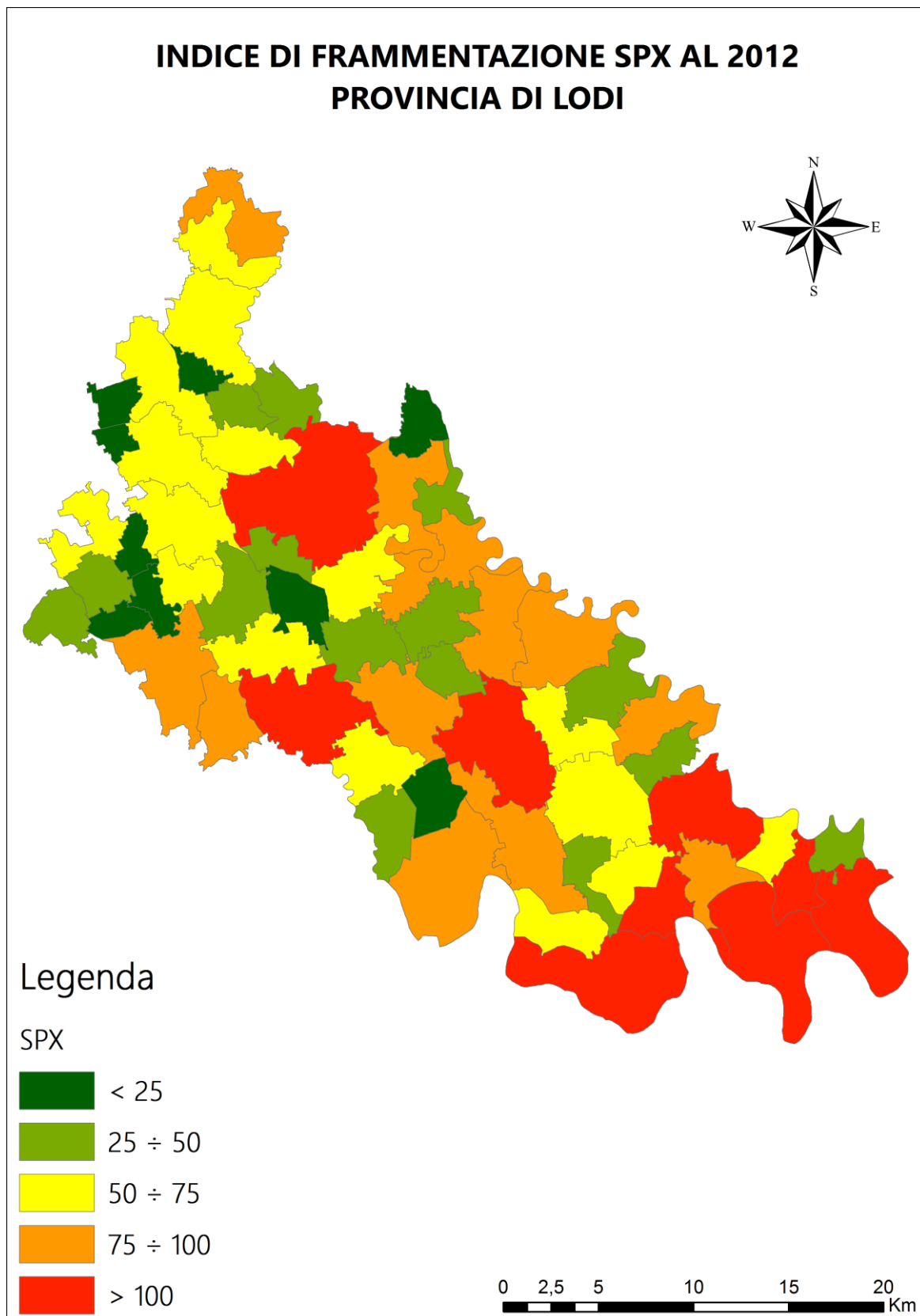


Figura 31: Indice di frammentazione SPX al 2012 - Provincia di Lodi (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori)

Dalle tre mappe si può chiaramente vedere come i Comuni centro-meridionali siano quelli tendenti ad una maggior frammentazione nel tempo, mentre quelli più settentrionali, probabilmente a causa della stretta vicinanza con Milano, siano quelli con i valori più bassi di SPX.

Un'ulteriore informazione in grado di fornire una visione a livello globale è data dalla media dei valori degli SPX nei tre istanti temporali. Come si osserva dalla Tabella 13 l'indice, anche se di poco, aumenta continuamente.

Tabella 13: Valor medio dell'indice SPX per l'intera Provincia di Lodi nei tre istanti temporali considerati

SPX ₁₉₉₉ medio [-]	SPX ₂₀₀₇ medio [-]	SPX ₂₀₁₂ medio [-]
67,52	67,57	68,27

Risultati indice SPX in relazione alla popolazione residente

Oltre che con la dimensione territoriale dei Comuni, si è provato a mettere in correlazione l'indice SPX con l'ampiezza demografica di ognuno. Il risultato, visibile nel Grafico 12, mostra come non esista un vero e proprio legame lineare tra questi.

Si può notare come, per i Comuni con meno di 5.000 abitanti, SPX possieda un range di variabilità elevato, passando dal più piccolo valore appartenente a Sordio (SPX = 9,6) al più grande di Caselle Landi (SPX = 273,1).

Ad eccezione di Lodi, si evince come il secondo, il terzo e il quarto Comune più popolosi dell'intera Provincia, aventi più di 10.000 abitanti, non siano quelli con i più alti valori di SPX.

La situazione al 2012 rimane pressoché invariata, confermando i risultati appena ottenuti.

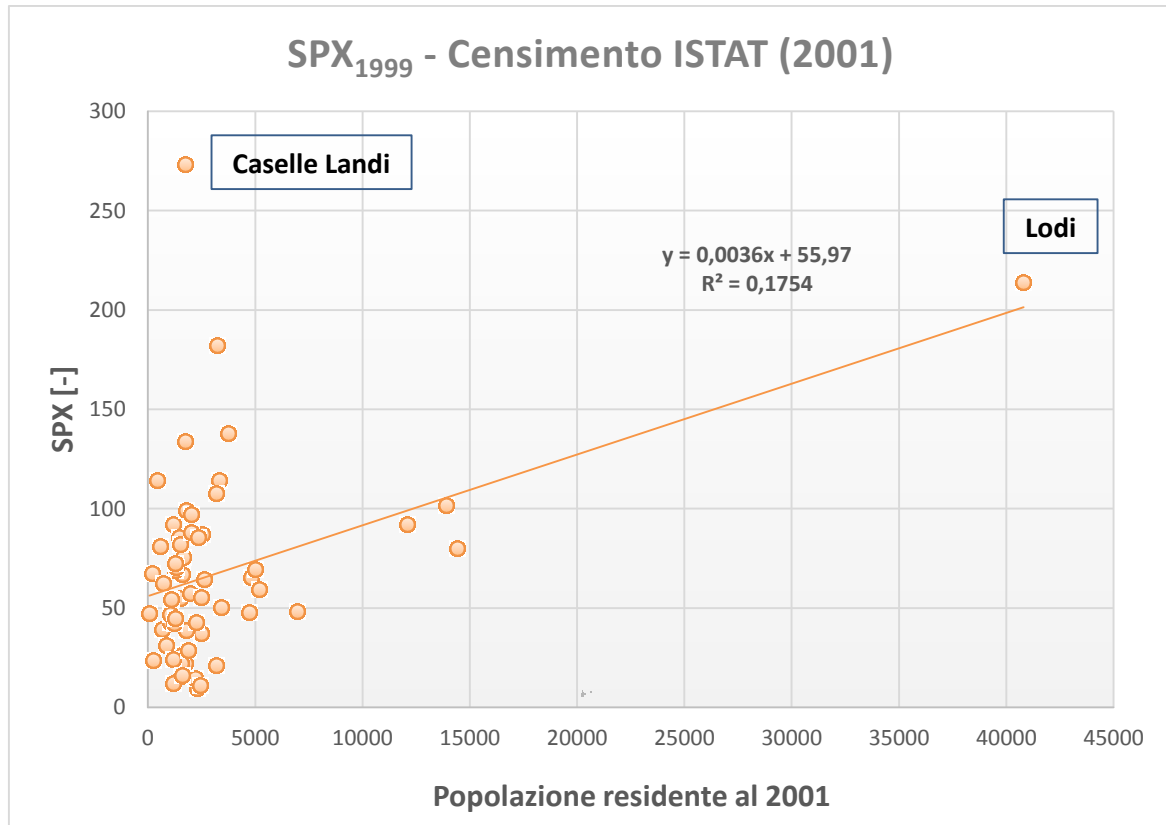


Grafico 12: Indice SPX al 1999 in funzione della popolazione residente al 2001

Si prova ora ad analizzare se esiste una possibile relazione tra la variazione del numero degli abitanti di ogni Comune e il comportamento in termini di frammentazione urbana.

Nel seguito viene riportata la Tabella 14 che presenta il censimento della popolazione comunale al 2001 e al 2011. Si è preferito considerare questo intervallo temporale confrontabile con quello riguardante SPX piuttosto che effettuare delle interpolazioni pre-2001 e post-2011.

Per una prima superficiale analisi sul fenomeno dello *sprinkling* è importante notare come quasi il 56% dei Comuni avesse al 1999 una densità residenziale compresa tra 0,2 e 2 abitanti/ettaro, tipica dello stesso.

Tabella 14: Censimenti ISTAT, densità residenziale, e variazione percentuale SPX per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi

Comune	Censimento ISTAT		Δ% ab.	Densità residenziale al 2001 [ab/ha]	Densità residenziale al 2011 [ab/ha]	ΔSPX _(1999 ÷ 2012) [%]
	2001	2011				
ABBADIA CERRETO	276	297	7,6	0,4	0,5	19,7
BERTONICO	1.116	1.168	4,7	0,6	0,6	74,6
BOFFALORA D'ADDA	1.042	1.705	63,6	1,3	2,0	10,5
BORGHETTO LODIGIANO	3.740	4.379	17,1	1,6	1,9	-7,7
BORGO SAN GIOVANNI	1.596	2.213	38,7	2,1	2,9	-13,3
BREMBIO	2.364	2.647	12,0	1,4	1,6	3,2
CAMAIRAGO	585	667	14,0	0,5	0,5	4,3
CASALETTO LODIGIANO	1.959	2.779	41,9	2,0	2,8	0,3
CASALMAIOCCO	2.438	3.069	25,9	5,2	6,5	21,7
CASALPUSTERLENGO	13.895	14.852	6,9	5,4	5,8	0,3
CASELLE LANDI	1.766	1.652	-6,5	0,7	0,6	-0,3
CASELLE LURANI	2.244	3.100	38,1	3,0	4,1	-6,5
CASTELNUOVO BOCCA D'ADDA	1.747	1.700	-2,7	0,9	0,8	-0,7
CASTIGLIONE D'ADDA	4.750	4.818	1,4	3,6	3,7	4,1
CASTIRAGA VIDARDO	1.633	2.642	61,8	3,1	5,0	-20,2
CAVACURTA	868	853	-1,7	1,2	1,2	37,2
CAVENAGO D'ADDA	2.038	2.259	10,8	1,3	1,4	-1,9
CERVIGNANO D'ADDA	1.560	2.119	35,8	3,8	5,2	58,5
CODOGNO	14.408	15.371	6,7	6,9	7,4	-8,5
COMAZZO	1.466	2.183	48,9	1,2	1,7	4,3
CORNEGLIANO LAUDENSE	2.485	2.838	14,2	4,4	5,0	1,1
CORNO GIOVINE	1.202	1.193	-0,7	1,2	1,2	4,4
CORNOVECCHIO	219	226	3,2	0,3	0,3	-5,6
CORTE PALASIO	1.493	1.550	3,8	1,0	1,0	-0,9
CRESPIATICA	1.564	2.137	36,6	2,2	3,0	-11,5
FOMBIO	1.807	2.288	26,6	2,4	3,1	-19,7
GALGAGNANO	675	1.208	79,0	1,1	2,0	2,7
GRAFFIGNANA	2.523	2.604	3,2	2,3	2,4	0,3
GUARDAMIGLIO	2.632	2.687	2,1	2,5	2,6	2,8
LIVRAGA	2.508	2.602	3,7	2,1	2,1	-4,4
LODI	40.805	43.332	6,2	9,9	10,5	-8,0
LODI VECCHIO	6.959	7.356	5,7	4,3	4,6	37,0
MACCASTORNA	64	60	-6,3	0,1	0,1	-24,2
MAIRAGO	1.054	1.397	32,5	0,9	1,2	-0,6
MALEO	3.329	3.249	-2,4	1,7	1,6	2,9
MARUDO	1.167	1.568	34,4	2,8	3,7	16,9
MASSALENGO	3.207	4.192	30,7	3,8	4,9	11,4
MELETI	450	466	3,6	0,6	0,6	-10,8
MERLINO	1.264	1.772	40,2	1,2	1,6	8,6
MONTANASO LOMBARDO	1.524	2.231	46,4	1,6	2,3	0,9
MULAZZANO	4.808	5.733	19,2	3,1	3,7	2,3
ORIO LITTA	1.908	2.023	6,0	1,9	2,0	15,5
OSPEDALETTO LODIGIANO	1.582	1.853	17,1	1,9	2,2	23,7
OSSAGO LODIGIANO	1.228	1.412	15,0	1,0	1,2	-4,1
PIEVE FISSIRAGA	1.304	1.604	23,0	1,1	1,3	-8,3
SALERANO SUL LAMBRO	2.214	2.653	19,8	5,2	6,2	-16,1
SAN FIORANO	1.635	1.804	10,3	1,8	2,0	-3,0
SAN MARTINO IN STRADA	3.417	3.624	6,1	2,6	2,8	3,9
SAN ROCCO AL PORTO	3.249	3.464	6,6	1,1	1,1	-12,0
SANT'ANGELO LODIGIANO	12.096	12.665	4,7	6,0	6,3	6,4
SANTO STEFANO LODIGIANO	1.793	1.902	6,1	1,7	1,8	6,0
SECUGNAGO	1.742	1.984	13,9	2,6	3,0	21,8
SENNA LODIGIANA	2.020	1.997	-1,1	0,8	0,7	3,3
SOMAGLIA	3.202	3.661	14,3	1,5	1,8	-9,9
SORDIO	2.327	3.149	35,3	8,3	11,2	53,9
TAVAZZANO CON VILLAVESCO	5.020	6.099	21,5	3,1	3,8	-11,6
TERRANOVA DEI PASSERINI	713	906	27,1	0,6	0,8	10,9
TURANO LODIGIANO	1.267	1.538	21,4	0,8	1,0	14,5
VALERA FRATTA	1.208	1.669	38,2	1,5	2,0	9,2
VILLANOVA DEL SILLARO	1.317	1.732	31,5	1,0	1,3	-4,4
ZELO BUON PERSICO	5.200	6.872	32,2	2,8	3,7	26,0

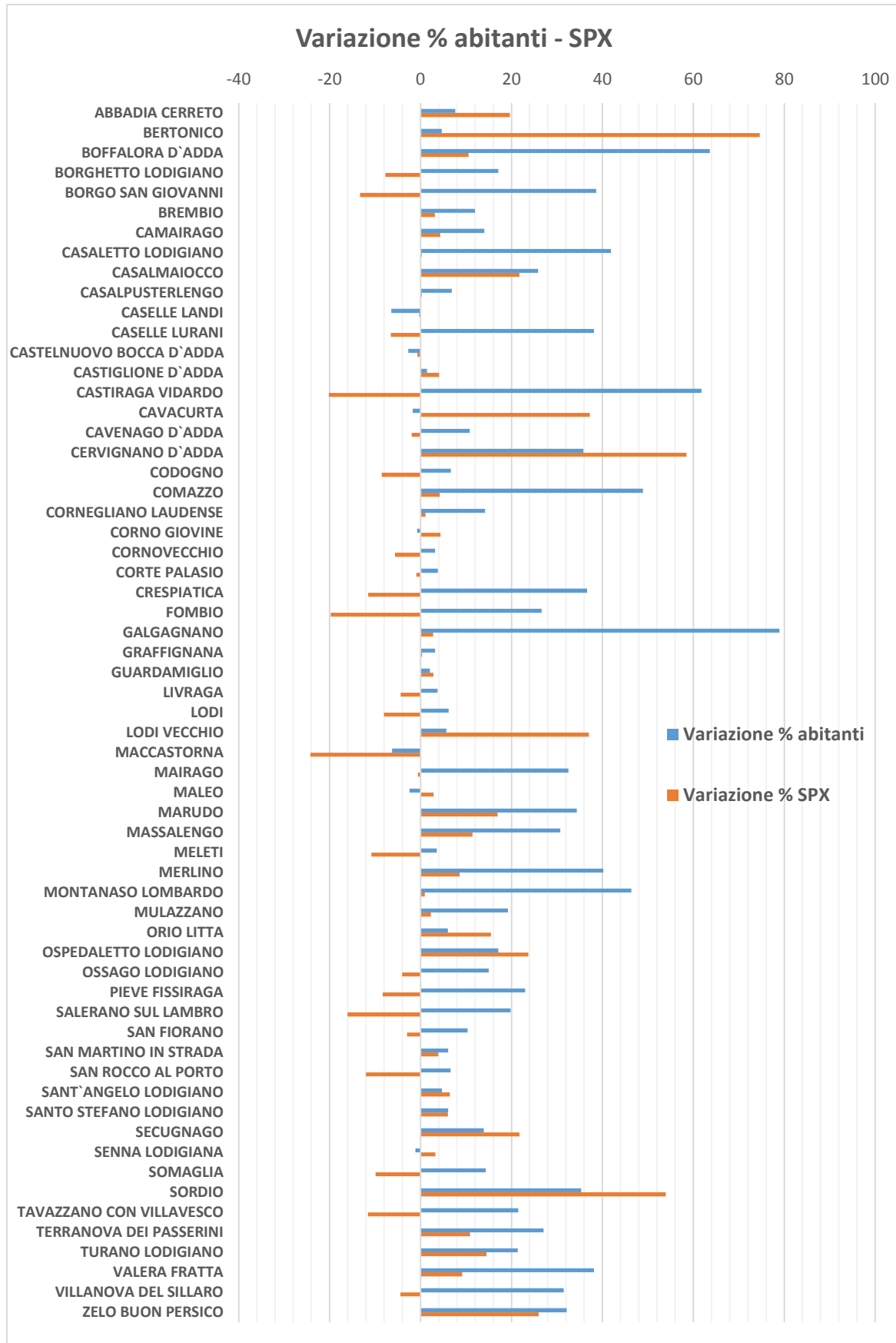


Grafico 13: Variazioni percentuali SPX e popolazione residente per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi

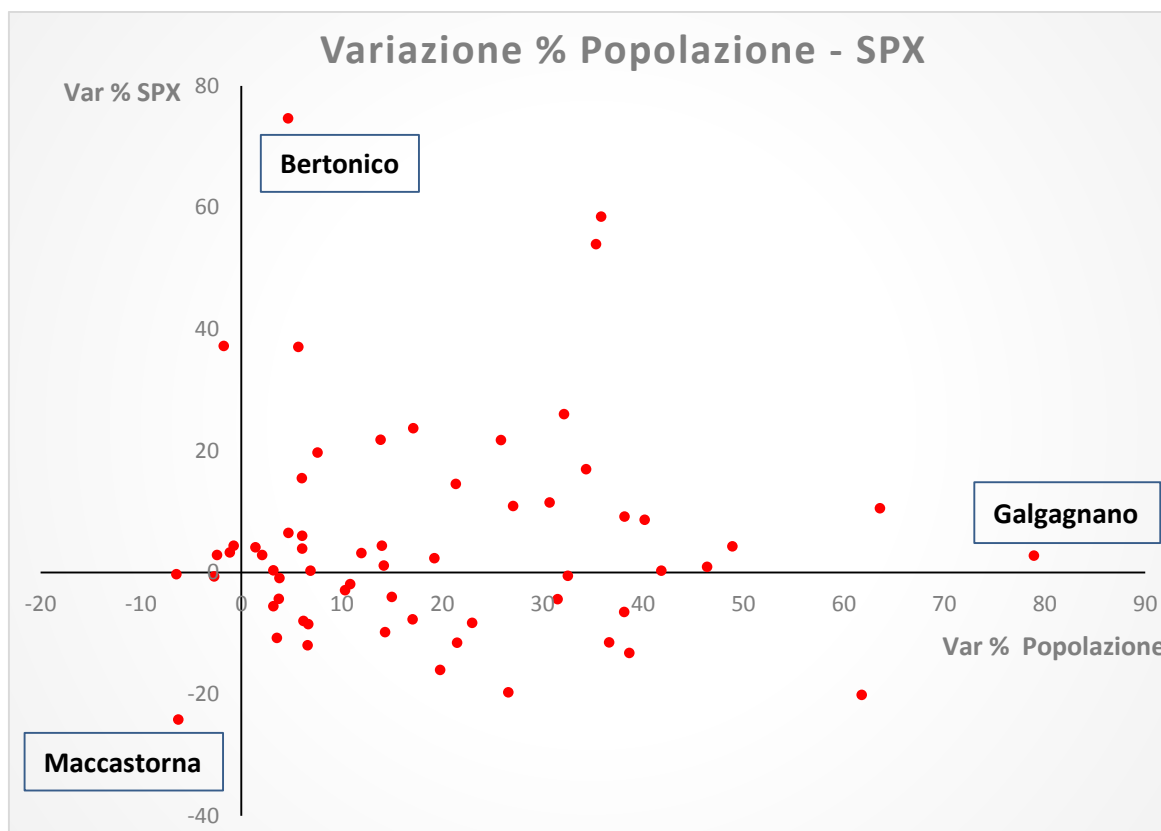


Grafico 14: Variazione percentuale popolazione - SPX

I due grafici soprastanti permettono di fare una ripartizione dei Comuni in base alle due variazioni percentuali prese in considerazione.

Nel Grafico 14, di più facile comprensione, si possono distinguere quattro quadranti e, di conseguenza quattro comportamenti diversi a seconda di dove si posizionano i pallini rossi.

- **Primo quadrante**: sia la popolazione che SPX sono cresciuti;
- **Secondo quadrante**: è diminuito solo il numero di abitanti;
- **Terzo quadrante**: sia la popolazione che SPX sono diminuiti;
- **Quarto quadrante**: è diminuito solo SPX.

La situazione “peggiore” è rappresentata dai Comuni appartenenti al secondo quadrante. Si manifesta perché essi, nonostante la popolazione sia diminuita nel tempo, hanno applicato delle politiche che favoriscono la frammentazione del tessuto urbano. In particolare sono quattro quei Comuni che ricadono in questa situazione, e sono:

- Maleo (-2,4%; +2,9%);
- Corno Giovine (-0,7; +4,4%);
- Senna Lodigiana (-1,1%; +3,3%);
- Cavacurta (-1,7%; +37,2%).

4.2 RISULTATI INDICE COREDISS

Si ricorda che l'indice CoreDiss valuta il **valor medio delle minime distanze fra le aree urbanizzate e i nuclei compatti**.

La Tabella 15 sintetizza tutti i risultati, riportando oltre ai valori al 1999, le variazioni temporali sia nei due intervalli successivi che in quello totale (1999 ÷ 2012).

Tabella 15: Valori indice CoreDiss al 1999 e relative variazioni per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi

Comune	CoreDiss ₁₉₉₉ [m]	$\Delta_{2007-1999}$ [m]	$\Delta_{2012-2007}$ [m]	$\Delta_{2012-1999}$ [m]	$\Delta\%$ CoreDiss (1999 ÷ 2012)	$\Delta\%$ SPX (1999 ÷ 2012)
ABBADIA CERRETO	975	-264	-93	-357	-36,6	19,7
BERTONICO	1.307	97	-88	9	0,7	74,6
BOFFALORA D'ADDA	831	0	-199	-199	-23,9	10,5
BORGHETTO LODIGIANO	1.404	-126	-19	-145	-10,3	-7,7
BORGO SAN GIOVANNI	809	-172	11	-161	-19,9	-13,3
BREMBIO	1.141	-78	-59	-137	-12,0	3,2
CAMAIRAGO	1.402	-143	42	-101	-7,2	4,3
CASALETTO LODIGIANO	1.532	-199	-135	-334	-21,8	0,3
CASALMAIOCCO	457	-91	2	-89	-19,5	21,7
CASALPUSTERLENGO	1.422	-262	-96	-358	-25,2	0,3
CASELLE LANDI	984	-32	-117	-149	-15,1	-0,3
CASELLE LURANI	972	-147	-4	-151	-15,5	-6,5
CASTELNUOVO BOCCA D'ADDA	1.582	-246	-235	-481	-30,4	-0,7
CASTIGLIONE D'ADDA	929	-178	-80	-258	-27,8	4,1
CASTIRAGA VIDARDO	827	-303	10	-293	-35,4	-20,2
CAVACURTA	931	-7	-44	-51	-5,5	37,2
CAVENAGO D'ADDA	1.409	-106	-120	-226	-16,0	-1,9
CERVIGNANO D'ADDA	349	-23	-4	-27	-7,7	58,5
CODOGNO	886	-171	-183	-354	-40,0	-8,5
COMAZZO	1.538	-169	-43	-212	-13,8	4,3
CORNEGLIANO LAUDENSE	720	-24	-53	-77	-10,7	1,1
CORNO GIOVINE	909	-46	4	-42	-4,6	4,4
CORNOVECCHIO	1.143	-148	-16	-164	-14,3	-5,6
CORTE PALASIO	1.363	-114	-12	-126	-9,2	-0,9
CRESPIATICA	574	-181	-67	-248	-43,2	-11,5
FOMBIO	1.075	-134	-117	-251	-23,3	-19,7
GALGAGNANO	913	-225	-33	-258	-28,3	2,7
GRAFFIGNANA	1.197	-251	-108	-359	-30,0	0,3
GUARDAMIGLIO	1.356	-296	-90	-386	-28,5	2,8
LIVRAGA	1.080	-92	-169	-261	-24,2	-4,4
LODI	1.244	-79	-62	-141	-11,3	-8,0
LODI VECCHIO	1.105	-265	-77	-342	-31,0	37,0
MACCASTORNA	637	-52	5	-47	-7,4	-24,2
MAIRAGO	1.101	-89	-49	-138	-12,5	-0,6
MALEO	1.274	-81	-32	-113	-8,9	2,9
MARUDO	656	-282	31	-251	-38,3	16,9
MASSALENGO	467	-144	-43	-187	-40,0	11,4
MELETI	1.347	-90	-113	-203	-15,1	-10,8
MERLINO	1.719	-254	-77	-331	-19,3	8,6
MONTANASO LOMBARDO	722	-8	-30	-38	-5,3	0,9
MULAZZANO	1.499	-123	-11	-134	-8,9	2,3
ORIO LITTA	573	-96	-70	-166	-29,0	15,5
OSPEDALETTO LODIGIANO	586	-24	-28	-52	-8,9	23,7
OSSAGO LODIGIANO	756	-147	-22	-169	-22,4	-4,1
PIEVE FISSIRAGA	773	-206	-35	-241	-31,2	-8,3
SALERANO SUL LAMBRO	235	-71	-9	-80	-34,0	-16,1
SAN FIORANO	1.032	-131	-13	-144	-14,0	-3,0
SAN MARTINO IN STRADA	1.110	-192	-37	-229	-20,6	3,9
SAN ROCCO AL PORTO	1.198	-63	10	-53	-4,4	-12,0
SANT'ANGELO LODIGIANO	1.156	-213	-62	-275	-23,8	6,4
SANTO STEFANO LODIGIANO	643	-36	-42	-78	-12,1	6,0
SECUGNAGO	609	-60	-92	-152	-25,0	21,8
SENNA LODIGIANA	1.342	-49	7	-42	-3,1	3,3
SOMAGLIA	1.696	-281	18	-263	-15,5	-9,9
SORDIO	248	-151	-12	-163	-65,7	53,9
TAVAZZANO CON VILLAVESCO	1.101	-166	71	-95	-8,6	-11,6
TERRANOVA DEI PASSERINI	1.201	-11	-100	-111	-9,2	10,9
TURANO LODIGIANO	1.269	-109	-49	-158	-12,5	14,5
VALERA FRATTA	723	-121	-28	-149	-20,6	9,2
VILLANOVA DEL SILLARO	1.485	-120	-7	-127	-8,6	-4,4
ZELO BUON PERSICO	1.377	-112	-57	-169	-12,3	26,0

Come si può constatare, si ottengono praticamente sempre valori negativi, ciò è spiegabile dal fatto che è molto più probabile che un Comune urbanizzi nuovi terreni che siano compresi tra quelli già esistenti e il nucleo compatto, piuttosto che il contrario.

È giusto sottolineare come le variazioni assolute dell'indice risentano sia della superficie comunale che del valore iniziale al 1999. Per esempio: Sordio ha un'estensione di 281,89 ettari e CoreDiss di 248 metri; Cornovecchio un'estensione di 652,75 ettari e CoreDiss di 1143 metri. La variazione tra il 2012 e il 1999 è sostanzialmente uguale, circa -164 metri per entrambi, ma la variazione percentuale rispetto al valore iniziale dell'indice per il primo corrisponde a -65,7% mentre per il secondo a -14,3%.

L'unico che presenta una variazione percentuale positiva risulta essere il Comune di Bertonico (+0,7%); pertanto, fra il 1999 e il 2012, ha realizzato nuove superfici antropizzate ad una distanza minima superiore rispetto alla media di quelle già esistenti.

Il Comune di Sordio è il solo ad avere un range di variazione molto grande (-65,7%). Si noti come 34 Comuni su 61 risiedono nella classe '-10% ÷ -30%'.

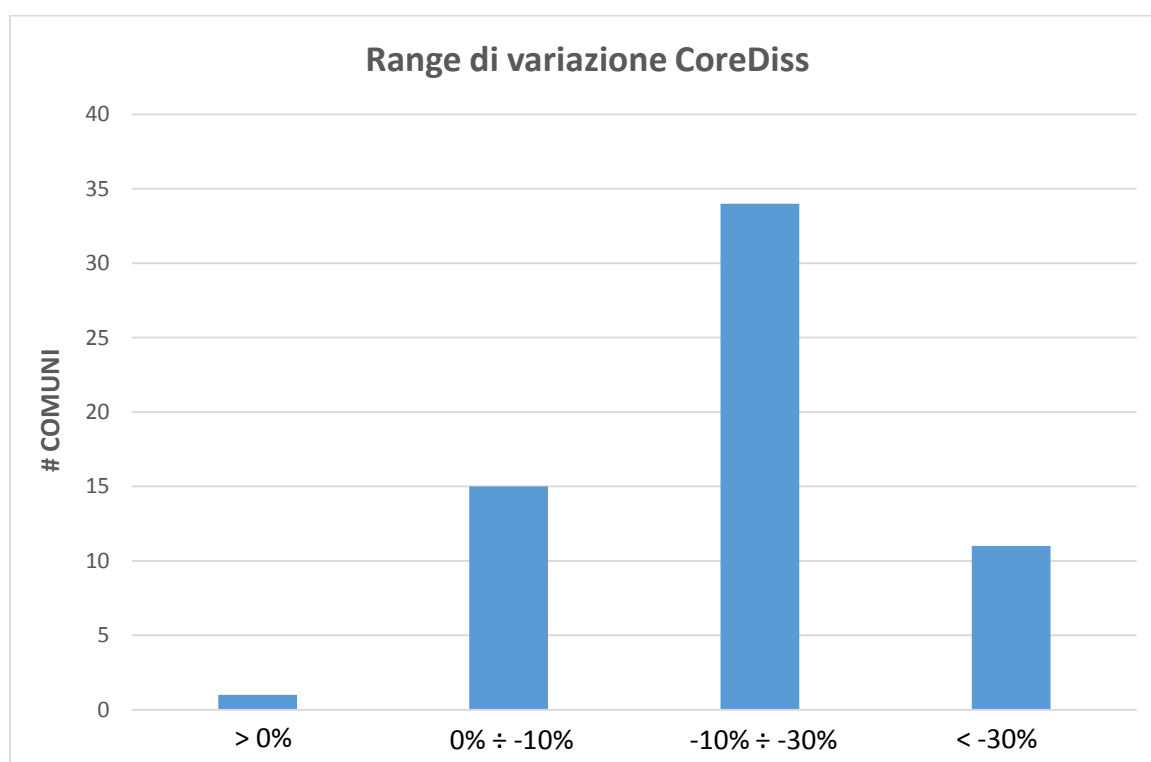


Grafico 15: Classificazione dei 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi in base alla variazione di CoreDiss

Si cerca di ripartire, analogamente a quanto fatto in Paragrafo: ‘Risultati indice SPX in relazione alla popolazione residente’, il comportamento dei Comuni in quattro categorie, in accordo alle variazioni percentuali di CoreDiss e di SPX, nell’intervallo 1999 ÷ 2012:

- **Primo quadrante:** sia CoreDiss che SPX sono cresciuti;
- **Secondo quadrante:** è diminuito solo CoreDiss;
- **Terzo quadrante:** sia CoreDiss che SPX sono diminuiti;
- **Quarto quadrante:** è diminuito solo SPX.

In questo caso la situazione “peggiore” è rappresentata da quelli che risiedono nel primo quadrante (qui solo il Comune di Bertonico).

Il secondo quadrante descrive, invece, una situazione nella quale le nuove aree DUSAF 11 e 12, sono state realizzate sempre più in direzione del nucleo compatto, ma in maniera sparsa.

Nel terzo invece, si ha la situazione “migliore” (ma non in termini di consumo di suolo): le nuove aree oltre ad essere insediate verso il nucleo, sono disposte in modo non disperso o comunque meglio rispetto la situazione di partenza.

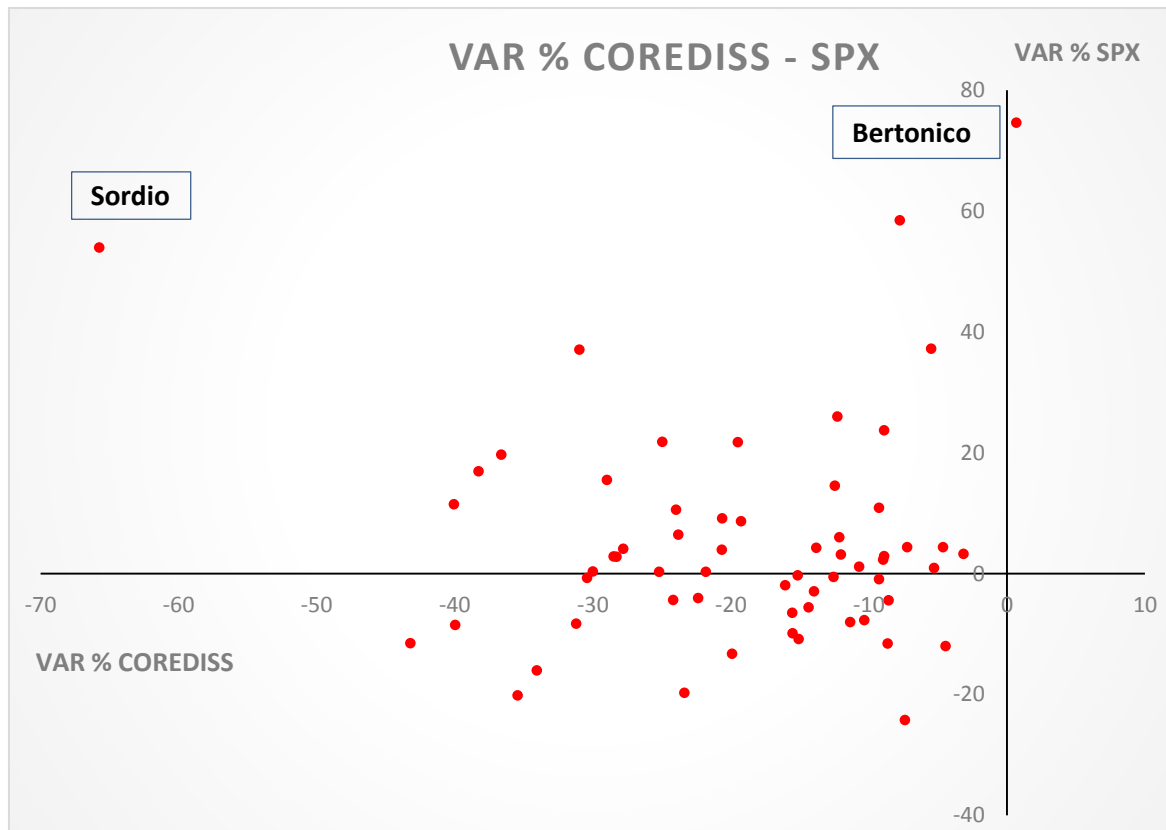


Grafico 16: Variazione percentuale CoreDiss - SPX

Analogamente a quanto fatto con SPX, si effettua un'analisi di correlazione dell'indice al 1999 con la superficie comunale (Grafico 17) e con la popolazione residente (Grafico 18).

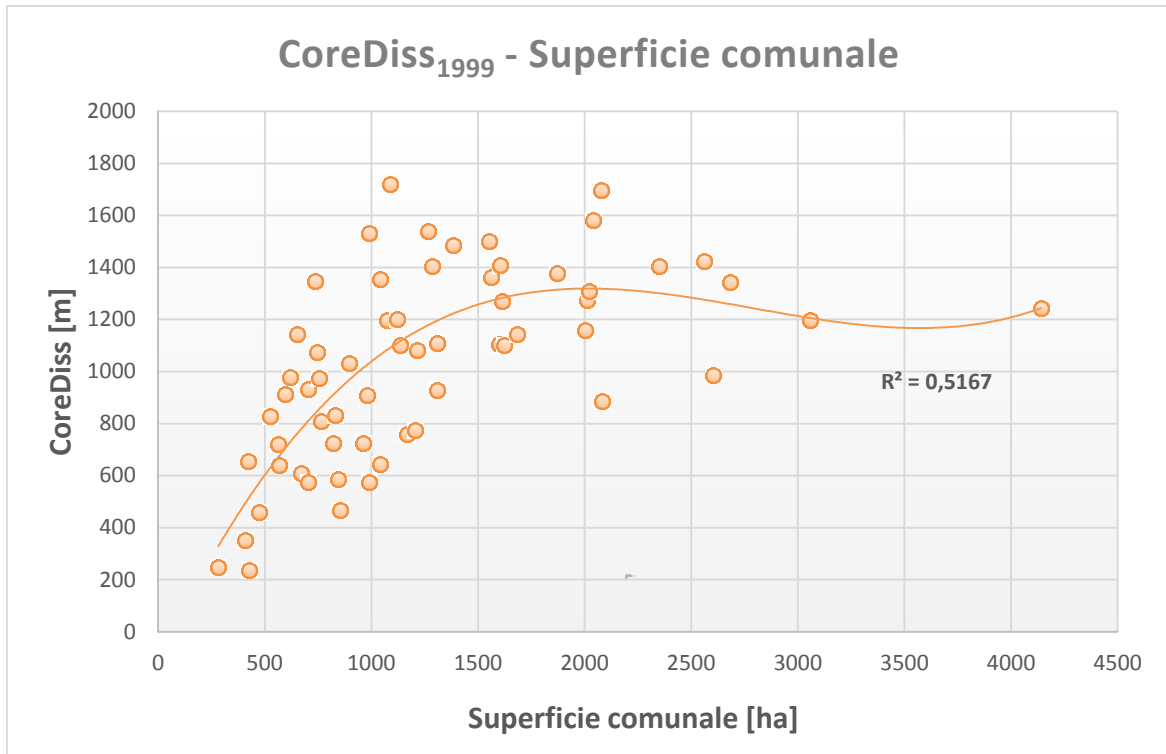


Grafico 17: Indice CoreDiss al 1999 in funzione della superficie comunale

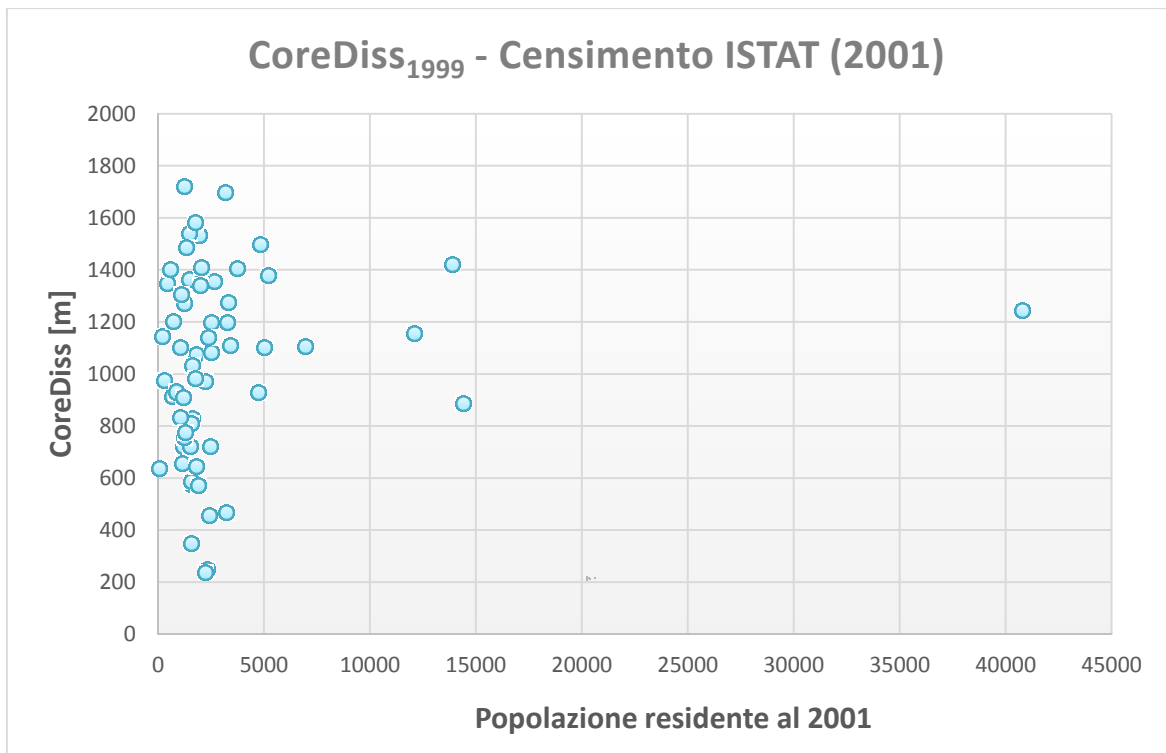


Grafico 18: Indice CoreDiss al 1999 in funzione della popolazione residente al 2001

Dal Grafico 17 si vede la chiara crescita più o meno lineare dell'indice CoreDiss per i Comuni aventi una superficie territoriale massima di 1.500 ha. Questa propensione non risulta più valida per i Comuni più estesi, per i quali l'indice CoreDiss sembra attestarsi ad un valore di circa 1.300 m. La linea di tendenza scelta è una curva polinomiale di ordine 3 perché rappresenta abbastanza bene il comportamento espresso da dati.

Il Grafico 18 mostra, invece, l'assenza di un qualsiasi legame tra l'indice e il numero di abitanti.

I risultati appena elencati e relativi ai precedenti due grafici sono validi anche negli altri istanti temporali considerati.

4.3 RISULTATI INDICE NEWDIST

L'indice NewDist, vale a dire **valor medio delle minime distanze tra le nuove aree e quelle già presenti**, è stato valutato per gli intervalli 1999 ÷ 2007 e 2007 ÷ 2012, ottenendo i risultati in Tabella 16 e Tabella 17.

Per ogni Comune, ad entrambi gli intervalli temporali, vengono quantificate le nuove aree insediate, quante di queste risultano non adiacenti a quelle già esistenti e la loro distanza media. Infine si calcola l'indice NewDist tenendo però in considerazione anche quelle a distanza nulla.

Tabella 16: Numero di nuove aree e corrispondente indice NewDist al 2007 per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi

Comune	# Nuove aree al 2007	# Nuove aree a distanza NON nulla 2007	Valor medio distanze NON nulle ₂₀₀₇ [m]	NewDist ₂₀₀₇ [m]
ABBADIA CERRETO	3	2	188	125
BERTONICO	12	4	360	120
BOFFALORA D'ADDA	0	0	0	0
BORGHETTO LODIGIANO	16	3	150	28
BORGO SAN GIOVANNI	17	1	30	2
BREMBIO	17	1	50	3
CAMAIRAGO	7	1	304	43
CASALETTO LODIGIANO	11	3	320	87
CASALMAIOCCO	10	1	142	14
CASALPUSTERLENGO	18	1	33	2
CASELLE LANDI	12	4	92	31
CASELLE LURANI	12	2	153	26
CASTELNUOVO BOCCA D'ADDA	8	3	210	79
CASTIGLIONE D'ADDA	6	1	44	7
CASTIRAGA VIDARDO	9	0	0	0
CAVACURTA	3	1	527	176
CAVENAGO D'ADDA	9	1	318	35
CERVIGNANO D'ADDA	8	5	125	78
CODOGNO	20	1	237	12
COMAZZO	10	1	21	2
CORNEGLIANO LAUDENSE	10	2	386	77
CORNO GIOVINE	7	1	20	3
CORNOVECCHIO	3	0	0	0
CORTE PALASIO	9	1	70	8
CRESPIATICA	7	0	0	0
FOMBIO	15	2	14	2
GALGAGNANO	9	2	52	12
GRAFFIGNANA	9	2	245	54
GUARDAMIGLIO	12	2	151	25
LIVRAGA	10	0	0	0
LODI	58	13	112	25
LODI VECCHIO	13	4	260	80
MACCASTORNA	4	0	0	0
MAIRAGO	6	4	79	53
MALEO	16	4	208	52
MARUDO	8	2	181	45
MASSALENGO	13	3	253	58
MELETI	4	1	181	45
MERLINO	16	4	139	35
MONTANASO LOMBARDO	14	3	47	10
MULAZZANO	15	2	379	50
ORIO LITTA	7	0	0	0
OSPEDALETTO LODIGIANO	9	2	73	16
OSSAGO LODIGIANO	11	1	90	8
PIEVE FISSIRAGA	19	2	112	12
SALERANO SUL LAMBRO	7	0	0	0
SAN FIORANO	8	0	0	0
SAN MARTINO IN STRADA	16	4	169	42
SAN ROCCO AL PORTO	24	8	238	79
SANT'ANGELO LODIGIANO	25	3	100	12
SANTO STEFANO LODIGIANO	14	1	103	7
SECUGNAGO	5	1	40	8
SENNA LODIGIANA	10	1	230	23
SOMAGLIA	22	2	43	4
SORDIO	7	0	0	0
TAVAZZANO CON VILLAVESCO	10	3	99	30
TERRANOVA DEI PASSERINI	11	5	155	70
TURANO LODIGIANO	7	2	202	58
VALERA FRATTA	4	1	109	27
VILLANOVA DEL SILLARO	15	5	157	52
ZELO BUON PERSICO	21	6	357	102

Raggruppando i valori contenuti nella terza colonna della tabella precedente, si può avere una visione sulla quantità di Comuni che hanno insediato nuove aree in maniera non contigua a quelle già esistenti.

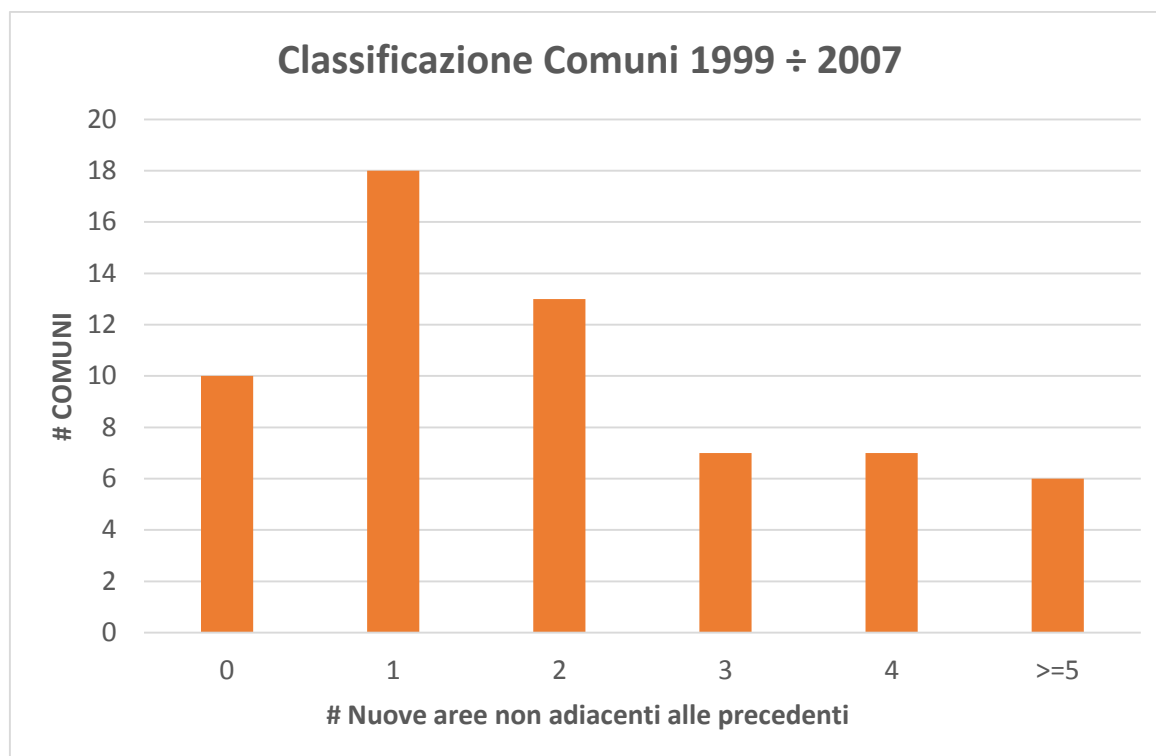


Grafico 19: Classificazione Comuni in base al numero di aree al 2007 realizzate non in adiacenza rispetto quelle al 1999

Come si può vedere, dieci Comuni su 61 non hanno realizzato alcuna superficie di classe 11 e/o 12 appartenente al DUSAF 2.1 confinante a quelle già esistenti.

Tabella 17: Numero di nuove aree e corrispondente indice NewDist al 2012 per i 61 Comuni appartenenti alla Provincia di Lodi

Comune	# Nuove aree al 2012	# Nuove aree a distanza NON nulla 2012	Valor medio distanze NON nulle ₂₀₁₂ [m]	NewDist ₂₀₁₂ [m]
ABBADIA CERRETO	5	0	0	0
BERTONICO	11	3	426	116
BOFFALORA D'ADDA	17	7	203	84
BORGHETTO LODIGIANO	30	0	0	0
BORGO SAN GIOVANNI	6	0	0	0
BREMBIO	16	7	67	29
CAMAIRAGO	4	1	132	33
CASALETTO LODIGIANO	6	0	0	0
CASALMAIOCCO	4	0	0	0
CASALPUSTERLENGO	17	1	93	5
CASELLE LANDI	37	1	46	1
CASELLE LURANI	7	1	415	59
CASTELNUOVO BOCCA D'ADDA	10	1	175	17
CASTIGLIONE D'ADDA	9	1	57	6
CASTIRAGA VIDARDO	8	1	47	6
CAVACURTA	4	2	80	40
CAVENAGO D'ADDA	10	2	160	32
CERVIGNANO D'ADDA	8	2	227	57
CODOGNO	38	3	46	4
COMAZZO	7	3	123	53
CORNEGLIANO LAUDENSE	9	0	0	0
CORNO GIOVINE	9	1	34	4
CORNOVECCHIO	4	0	0	0
CORTE PALASIO	13	3	52	12
CRESPIATICA	11	1	142	13
FOMBIO	12	1	24	2
GALGAGNANO	9	2	260	58
GRAFFIGNANA	9	2	240	53
GUARDAMIGLIO	27	3	67	7
LIVRAGA	19	2	45	5
LODI	52	2	230	9
LODI VECCHIO	18	4	144	32
MACCASTORNA	4	1	120	30
MAIRAGO	6	0	0	0
MALEO	16	2	239	30
MARUDO	3	0	0	0
MASSALENGO	11	2	109	20
MELETI	8	0	0	0
MERLINO	9	3	67	22
MONTANASO LOMBARDO	14	0	0	0
MULAZZANO	12	0	0	0
ORIO LITTA	9	1	16	2
OSPEDALETTO LODIGIANO	4	1	44	11
OSSAGO LODIGIANO	10	0	0	0
PIEVE FISSIRAGA	11	1	205	19
SALERANO SUL LAMBRO	9	0	0	0
SAN FIORANO	9	2	205	46
SAN MARTINO IN STRADA	17	1	29	2
SAN ROCCO AL PORTO	21	3	71	10
SANT'ANGELO LODIGIANO	26	1	268	10
SANTO STEFANO LODIGIANO	14	1	148	11
SECUGNAGO	7	2	131	37
SENNA LODIGIANA	14	3	419	90
SOMAGLIA	20	3	171	26
SORDIO	6	0	0	0
TAVAZZANO CON VILLAVESCO	16	1	418	26
TERRANOVA DEI PASSERINI	10	0	0	0
TURANO LODIGIANO	13	3	131	30
VALERA FRATTA	8	2	339	85
VILLANOVA DEL SILLARO	19	1	88	5
ZELO BUON PERSICO	19	1	506	27

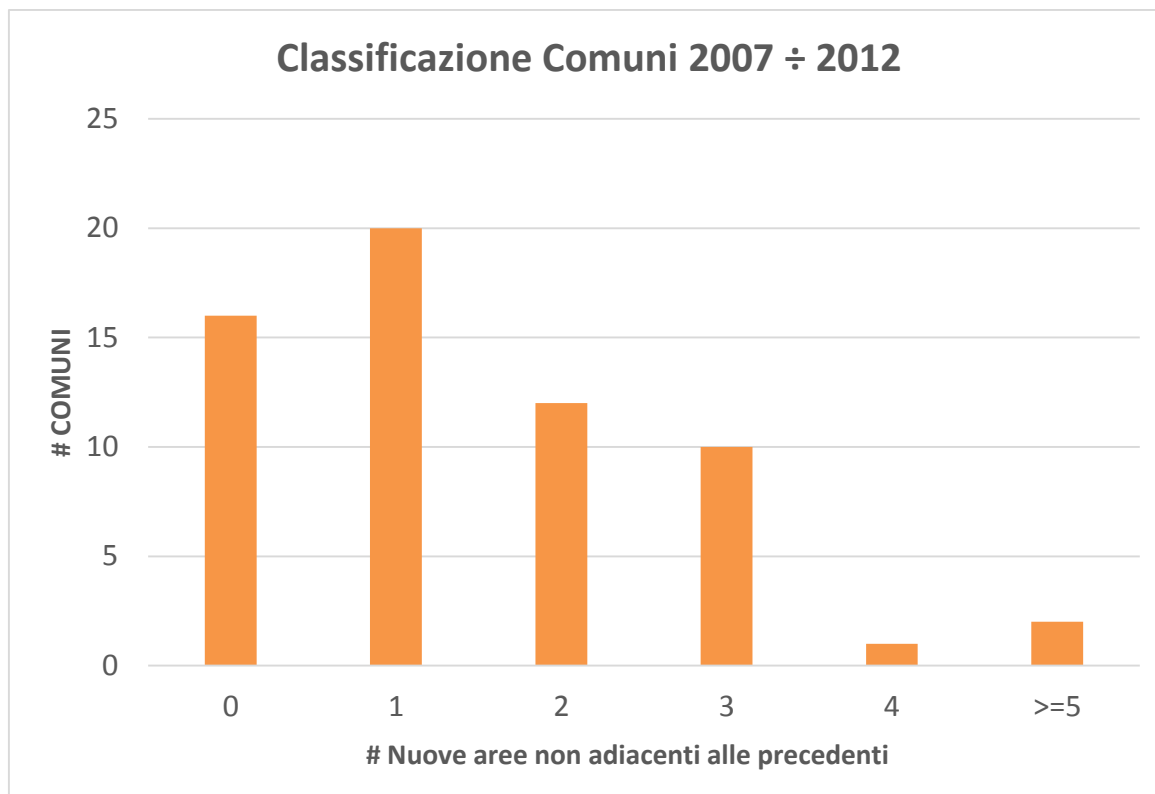


Grafico 20: Classificazione Comuni in base al numero di aree al 2012 realizzate non in adiacenza rispetto quelle al 2007

Dai due precedenti istogrammi si vede come aumentano solo i Comuni aventi al più un'area adiacente a quelle già esistenti (da 10 a 16 per la classe zero, e da 18 a 20 per la classe uno); questa informazione non deve essere interpretata come in contrasto con SPX (Tabella 13), in quanto quest'ultimo è influenzato sia dalla distanza che dalla dimensione dei poligoni. Comunque sia, l'indice NewDist fornisce una informazione sulla tendenza in atto, da considerare per eventuali analisi di *sprawl* e *sprinkling*.

Interessante notare come 19 Comuni, ovvero il 31%, abbiano insediato più aree sparse nell'intervallo 2007 ÷ 2012 che in quello precedente; ad esempio:

- Boffalora d'Adda → Da 0 a 7 aree;
- Brembio → Da 1 a 7 aree.

31 Comuni, circa il 51%, si comportano in maniera opposta, come:

- Lodi → Da 13 a 2 aree;
- San Rocco al Porto → Da 8 a 3 aree.

Per il NewDist, la situazione “ideale” sarebbe quella per cui:

$$\frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \rightarrow 0$$

4.4 APPROFONDIMENTO SU PARTICOLARI CASI DI STUDIO

Essendo 61 i Comuni della Provincia di Lodi, l’approfondimento e il commento dei risultati per ciascuno di essi risulterebbe troppo tedioso, soprattutto in relazione ai tre indici valutati in tutti gli istanti temporali. Per questo motivo verranno analizzati in questo paragrafo solamente quelli aventi precise caratteristiche:

- **Caselle Landi**, in quanto è il Comune che risulta avere il più alto valore dell’indice SPX;
- **Meleti**, perché nonostante sia uno dei Comuni meno estesi, ha un alto valore dell’indice SPX;
- **Codogno**, per il suo elevato consumo di suolo;
- **Lodi**, essendo il capoluogo di Provincia.

Caselle Landi

Il Comune di Caselle Landi, localizzato nella parte più meridionale e delimitato dal fiume Po, è il quarto più esteso dell’intera Provincia (2.602,64 ha).

Nonostante, come mostrato dai due censimenti ISTAT (2001 e 2011), la popolazione residente sia calata del 6,5% (da 1.766 a 1.652 abitanti), è stato consumato suolo, insediando nuove aree appartenenti alle classi 11 e 12 del DUSAF, per un valore netto di 10 ha (da 119 a 129 ha).

Come visto precedentemente nel Paragrafo 4.1, risulta essere il Comune più frammentato di tutti, con un valore dell’indice SPX al 1999 pari a 273,1. Visivamente in Figura 32, è possibile apprezzare le numerose aree urbanizzate, sparse in maniera tale da ricordare la configurazione spaziale dello *sprinkling*.

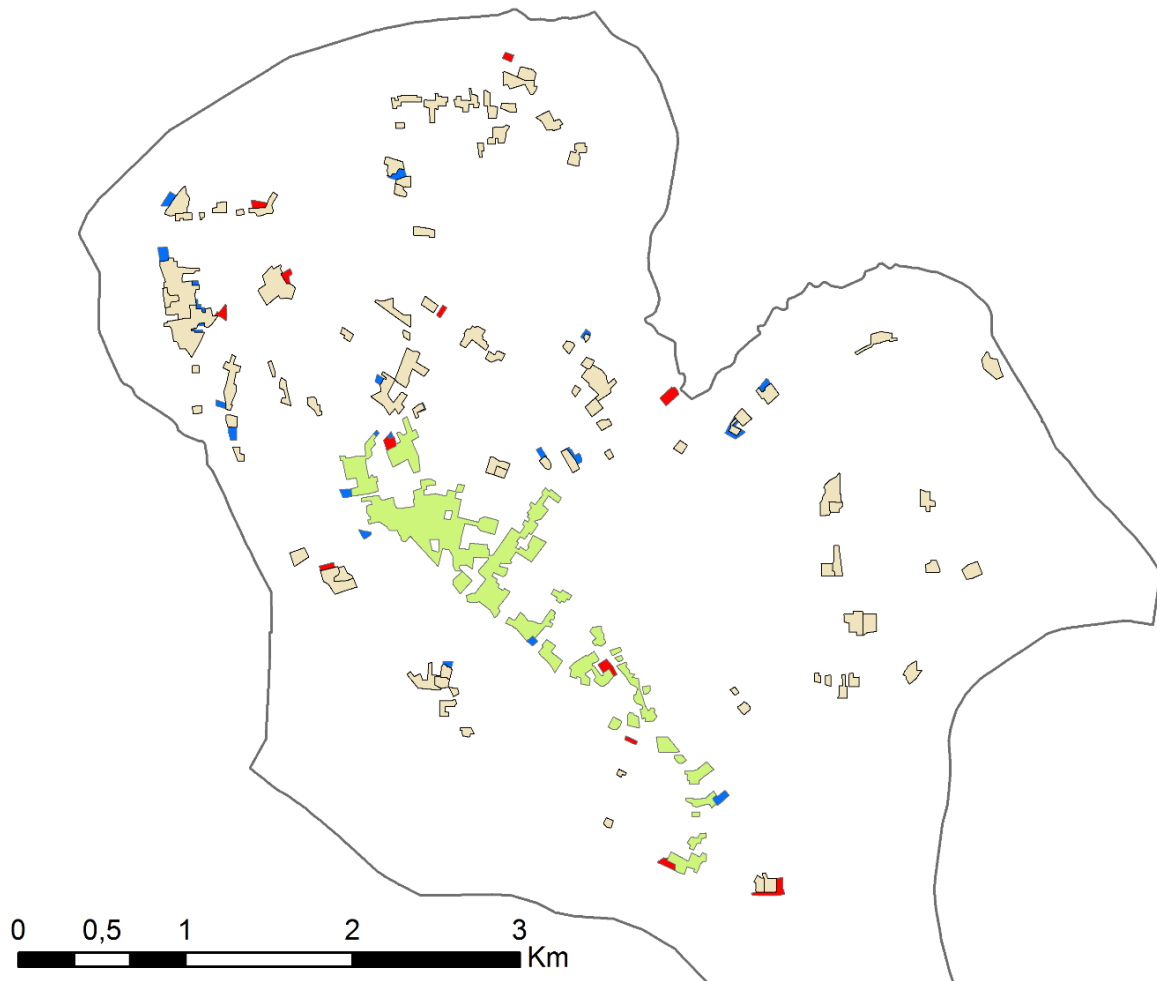


Figura 32: Zoom sul Comune di Caselle Landi. In verde chiaro il nucleo comunale al 1999, in grigio le classi 11 e 12 del DUSAF 1.0, in rosso le aree insediate al 2007, in blu quelle al 2012

Tra il 1999 e il 2007, si sono insediate dodici nuove aree (colorate in rosso) distanti una trentina di metri dall'antropizzato già esistente ($NewDist_{2007} = 31$ m), tutte avente una estensione piccola. Quattro di queste, sono disposte in maniera dispersa e lontane approssimativamente 92 metri da quelle presenti.

Essendo piccole e mediamente discoste dal nucleo comunale (in questo caso lineare più che compatto) contribuiscono maggiormente alla frammentazione aumentando più il numeratore che il denominatore dell'indice SPX (280,1); allo stesso tempo CoreDiss, che diminuisce di 32 metri, indica pertanto come esse siano state realizzate in direzione del nucleo.

Tra il 2007 e il 2012, solo una delle 38 nuove aree risulta non adiacente, pertanto CoreDiss, SPX e NewDist diminuiscono, come riportato in Tabella 18.

Tabella 18: Comune di Caselle Landi: SPX, CoreDiss e NewDist con relative variazioni

SPX ₁₉₉₉ [-]	SPX ₂₀₀₇ [-]	SPX ₂₀₁₂ [-]	$\Delta_{2007-1999}$ [-]	$\Delta_{2012-2007}$ [-]
273,1	280,1	272,3	+7	-7,8
CoreDiss ₁₉₉₉ [m]	CoreDiss ₂₀₀₇ [m]	CoreDiss ₂₀₁₂ [m]	$\Delta_{2007-1999}$ [m]	$\Delta_{2012-2007}$ [m]
984	952	835	-32	-117
NewDist ₂₀₀₇ [m]	NewDist ₂₀₁₂ [m]		$\Delta_{2012-2007}$ [m]	
31	1		-30	

Complessivamente Caselle Landi è rimasto il Comune con le medesime peculiarità iniziali. È costituito da un tessuto urbano disomogeneo con insediamenti a sviluppo spontaneo aventi funzioni rurali, residenziali e industriali, molto piccoli e dispersi tra loro, che vanno a consolidare maggiormente le aree esterne al nucleo piuttosto che lo stesso, apparentemente senza alcuna metodologia nella governance territoriale.

Meleti

Meleti è un piccolo Comune di 466 abitanti (censimento ISTAT, 2011) del basso lodigiano, delimitato nella parte settentrionale dal fiume Adda, confinante a ovest con Corno Giovine e Cornovecchio, a est con Maccastorna e Castelnuovo Bocca d'Adda e infine a sud con l'appena analizzato Caselle Landi.

Come molte altre realtà nella Provincia possiede una forte valenza rurale, non a caso sono localizzate sul territorio molte cascate e insediamenti produttivi agricoli, che oltre alla loro fondamentale importanza per la produzione di cibo, contribuiscono nel caratterizzare il territorio.

Viene qui proposta l'analisi di Meleti a causa di una caratteristica che lo contraddistingue: nonostante sia il sedicesimo Comune più piccolo dell'intera Provincia (736,88 ha), con una percentuale di antropizzazione di circa il 6% al 2012, la sua frammentazione è notevole, di gran lunga superiore ai suoi simili in estensione territoriale.

Tale peculiarità è ben sintetizzata dall'indice SPX, il cui valore al 1999 è pari a 114,3, di un ordine di grandezza superiore al 31,3 di Cavacurta (705,58 ha) o al 38,7 di Fombio (745,67 ha).

Come purtroppo era prevedibile, nell'arco dei 13 anni considerati in questo elaborato di Tesi, il Comune di Meleti ha consumato suolo, quantificabile come circa il 2% dell'intera superficie compresa nei limiti amministrativi.

Questo consumo di suolo è avvenuto in maniera tale da rendere più compatto, o meglio meno frammentato, il tessuto antropizzato costituito dalle classi 11 e 12 del DUSAF. Difatti la Figura 33 mostra come le nuove aree (12 in tutto) si siano insediate per la quasi totalità a ridosso del nucleo, quest'ultimo costituito da "tessuto residenziale discontinuo" e "tessuto residenziale mediamente denso".

I tre indici hanno colto l'apporto che queste nuove aree hanno fornito nella variazione di forma della trama di antropizzato; infatti SPX è calato, passando da 114,3 a 101,9 (-10,8%), anche CoreDiss è diminuito nei tre istanti (1999, 2007 e 2012). Se si combinano questi valori e le loro relative variazioni con il terzo indice NewDist, è possibile pertanto affermare che queste nuove superfici antropizzate sono state realizzate in direzione del nucleo comunale e quasi sempre (ben 11 su 12) in adiacenza ad aree già esistenti. Da notare inoltre come esse siano di piccola dimensione.

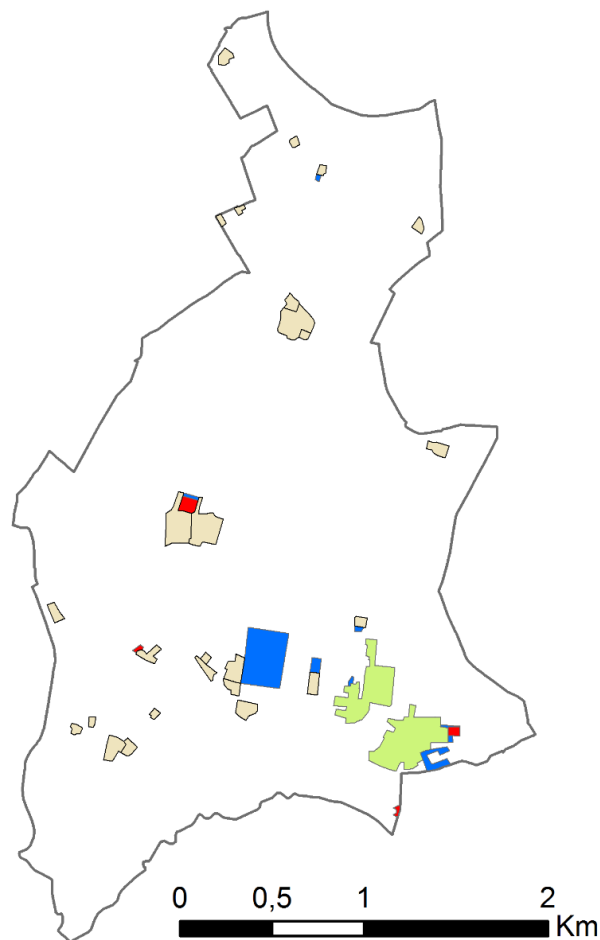


Figura 33: Comune di Meleti. In verde chiaro il nucleo comunale al 1999, in grigio le classi 11 e 12 del DUSAF 1.0, in rosso le aree insediate al 2007, in blu quelle al 2012

Si osservi il quadratino blu in Figura 33: esso rappresenta un imponente nuovo insediamento produttivo di quasi 67.000 m² realizzato tra il 2007 e il 2012; oltre ad avere sottratto una preziosa area dedicata fino a pochi anni prima alla produzione di seminativi semplici, ha contribuito nella diminuzione di SPX, concorrendo con la sua grande estensione areale e distanza dal nucleo comunale relativamente piccola, al denominatore del tal indice.

In conclusione possiamo affermare che il Comune di Meleti, con la sua elevata frammentazione e allo stesso tempo basso numero di abitanti (densità residenziale al 2012 pari a 0,6 ab/ha), rappresenti una situazione tendente ad una forma più o meno simile a quella caratteristica dello *sprinkling*; è altresì vero che i cambiamenti d'uso del suolo

avvenuti nell'intervallo 1999 ÷ 2012 hanno rafforzato in estensione le aree antropizzate già esistenti, non contribuendo nella già elevata dispersione delle stesse.

Tabella 19: Comune di Meleti: SPX, CoreDiss e NewDist con relative variazioni

SPX ₁₉₉₉ [-]	SPX ₂₀₀₇ [-]	SPX ₂₀₁₂ [-]	$\Delta_{2007-1999}$ [-]	$\Delta_{2012-2007}$ [-]
114,3	113,8	101,9	-0,5	-11,9
CoreDiss ₁₉₉₉ [m]	CoreDiss ₂₀₀₇ [m]	CoreDiss ₂₀₁₂ [m]	$\Delta_{2007-1999}$ [m]	$\Delta_{2012-2007}$ [m]
1.347	1.257	1.144	-90	-113
NewDist ₂₀₀₇ [m]		NewDist ₂₀₁₂ [m]	$\Delta_{2012-2007}$ [m]	
45		0	-45	

Codogno

Codogno è uno dei Comuni più estesi della Provincia di Lodi e addirittura il secondo in termini di numero di residenti (15.371, censimento ISTAT, 2011). È il Comune, al 1999, con la più alta percentuale di superficie urbanizzata (20,92%) rispetto a quella totale.

In Figura 34 si può vedere come la tendenza al consumo di suolo, a discapito dei terreni agricoli, sia continuata costantemente nel tempo, sia tra il 1999 e il 2007 (aree rosse) che tra il 2007 e il 2012 (aree blu). Si può facilmente intuire come questo Comune possa essere preso d'esempio per il passaggio dall'applicazione teorica del termine *urban sprawl* (trattata nel Capitolo 2) alla messa in pratica dello stesso. In particolare il nucleo comunale, ampliatosi notevolmente nel corso dei due intervalli temporali, è costituito da tessuti urbani omogenei ad uso prevalentemente residenziale.

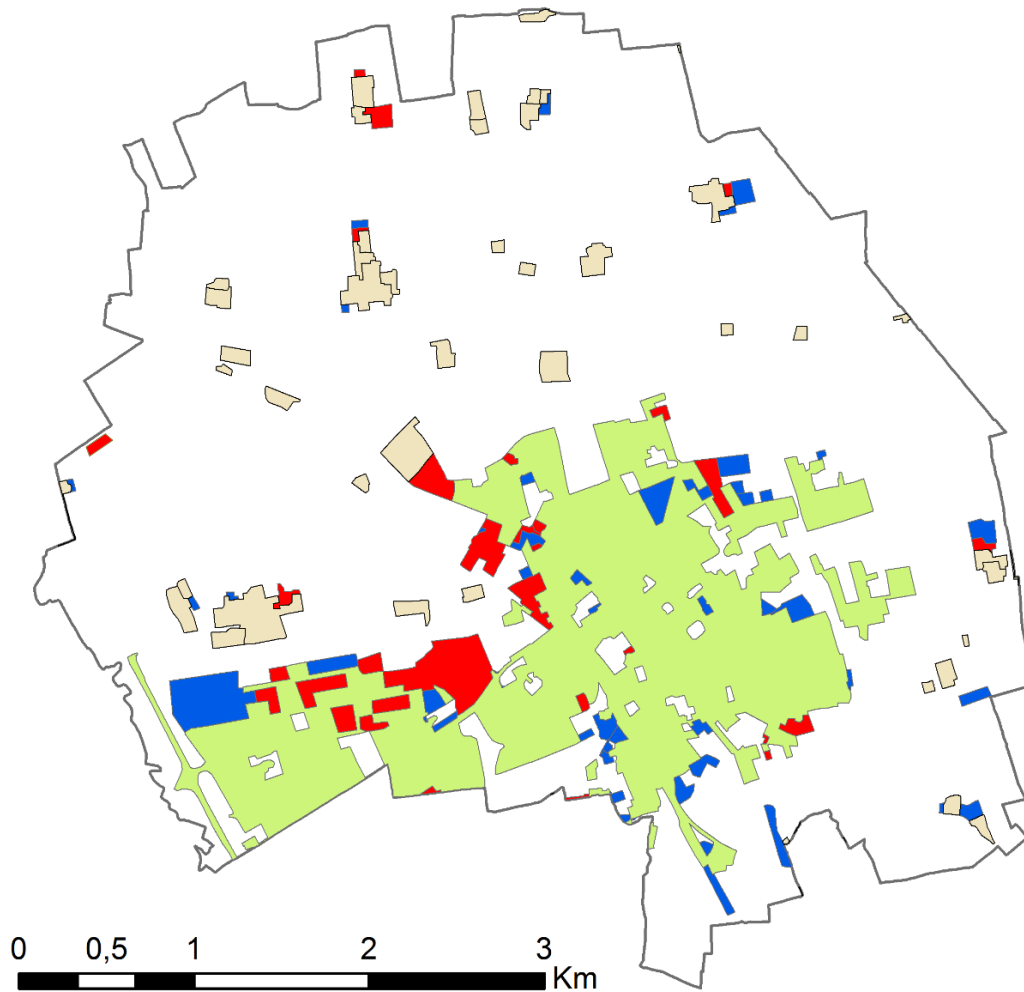


Figura 34: Comune di Codogno. In verde chiaro il nucleo comunale al 1999, in grigio le classi 11 e 12 del DUSAF 1.0, in rosso le aree insediate al 2007, in blu quelle al 2012

Inizialmente il valore di SPX al 1999 (79,8) indica come il Comune risulti abbastanza frammentato ma, col passare del tempo, le decisioni prese a livello di pianificazione urbana hanno inciso sulla compattazione dello stesso e sul risultato dell'indice SPX. Infatti si è passati da un valore di 76,4 nel 2007 a 73,0 nel 2012, scendendo di una categoria, ovvero dalla quarta alla terza, nelle tabelle riguardanti il range di variazione dell'indice (Grafico 9, 10, 11).

Tra il 1999 e il 2007 si insediano venti nuove aree (in rosso nella figura), delle quali solo una non è adiacente a quelle presenti all'istante iniziale. Ciò fornisce informazioni sul fatto che l'indice NewDist al 2007 risulti basso (12 m), così come diminuisce l'indice CoreDiss di 171 metri tra il 1999 e il 2007, dato che le nuove aree che si sono insediate in

questo intervallo temporale lo hanno fatto prettamente in direzione del nucleo compatto comunale, aumentandolo in superficie.

Un procedimento analogo si è svolto anche nell'intervallo temporale successivo, nel quale 35 delle 38 nuove aree risultano adiacenti a quelle presenti nel DUSAF 2.1. Ciò è in accordo col fatto che sia il NewDist al 2012 (4 m) che, come detto poco fa, SPX tendano a diminuire. In particolare da notare il notevole calo dell'indice CoreDiss che dal 1999 al 2012 è calato del 40%, valore tra i più alti registrati e visibile in Figura 34.

La tabella seguente riassume quanto appena detto:

Tabella 20: Comune di Codogno: SPX, CoreDiss e NewDist con relative variazioni

SPX ₁₉₉₉ [-]	SPX ₂₀₀₇ [-]	SPX ₂₀₁₂ [-]	$\Delta_{2007-1999}$ [-]	$\Delta_{2012-2007}$ [-]
79,8	76,4	73,0	-3,4	-3,4
CoreDiss ₁₉₉₉ [m]	CoreDiss ₂₀₀₇ [m]	CoreDiss ₂₀₁₂ [m]	$\Delta_{2007-1999}$ [m]	$\Delta_{2012-2007}$ [m]
886	715	532	-171	-183
NewDist ₂₀₀₇ [m]	NewDist ₂₀₁₂ [m]		$\Delta_{2012-2007}$ [m]	
12	4		-8	

Concludendo si può ribadire come Codogno sia uno dei Comuni della Provincia che abbia urbanizzato di più tra il 1999 e il 2012 (circa 82 ettari), anche se la popolazione, nel decennio 2001 ÷ 2011, è aumentata solamente di mille unità.

Quello appena proposto è un classico esempio di *sprawl*, in cui si assiste ad una evoluzione urbana, nei tre istanti temporali successivi, in continuità di aggregato. Dal punto di vista della frammentazione, invece, Codogno è risultato essere uno dei Comuni che si è comportato meglio.

Lodi

Il capoluogo della Provincia, Lodi, è situato nella parte settentrionale della stessa. È il Comune più esteso di tutti (4.142 ettari) con la relativa superficie urbanizzata che è passata

da 813,44 ha (il 19,64%) al 1999 a 934,07 ha (il 22,55%) al 2012. Per questa ragione rappresenta il Comune che ha consumato più suolo in questo intervallo temporale.

Per quanto riguarda il numero di residenti, invece, esso è aumentato di circa 2.500 unità dal censimento del 2001 (40.805 ab.) a quello del 2011 (43.332 ab.) e, di conseguenza, la relativa densità residenziale è variata positivamente di 0,61 abitanti/ettaro.

Nella seguente figura si possono vedere, in rosso, le aree insediate tra il 1999 e il 2007, mentre in blu sono raffigurate quelle tra il 2007 e il 2012. Si può notare chiaramente come l'urbanizzazione più pesante sia avvenuta nel primo intervallo temporale, soprattutto con la costruzione della rete stradale che taglia da Nord a Sud il Comune e con quella grande area ad Ovest appartenente alla categoria "insediamenti industriali, artigianali e commerciali".

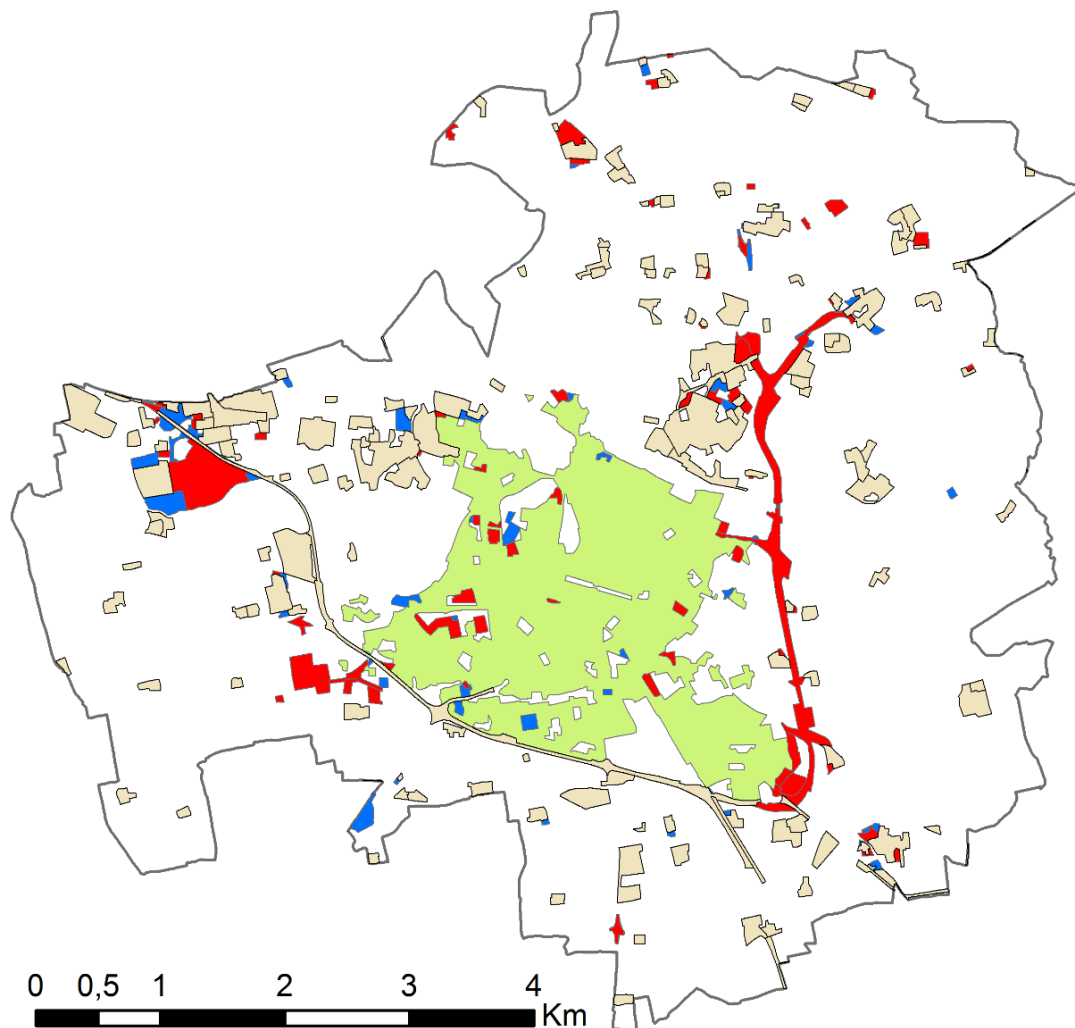


Figura 35: Comune di Lodi. In verde chiaro il nucleo comunale al 1999, in grigio le classi 11 e 12 del DUSAF 1.0, in rosso le aree insediate al 2007, in blu quelle al 2012

Al tempo iniziale è presente una elevata frammentazione delle aree urbanizzate, infatti il valore dell'indice SPX è equivalente a 213,8, risultando il secondo valore più alto di tutta la Provincia, dopo Caselle Landi. Il valore medio della minima distanza delle aree rispetto al nucleo compatto (colorato in verde chiaro nella figura), indice CoreDiss al 1999, è di 1.244 metri, esprimendo come le 170 patch del DUSAF 1.0 non siano più di tanto posizionate in prossimità del nucleo stesso.

L'insediamento delle nuove aree nei due intervalli successivi ha ovviamente inciso sul valore di SPX, così come sugli altri due.

Delle 58 nuove aree al 2007, 45 sono state costruite in modo adiacente a quelle già presenti, il che ha influito sulla diminuzione della frammentazione, spiegata dal calo dell'indice SPX. Così come la diminuzione del CoreDiss è spiegabile col fatto che si è urbanizzato in direzione del nucleo, piuttosto che nella parte più esterna in prossimità dei limiti amministrativi.

Nell'intervallo temporale successivo si è mostrata una simile tendenza, infatti delle 52 nuove aree insediate, solo due risultano distaccate da quelle esistenti nel DUSAF 2.1. Come si può notare dai valori nella tabella seguente l'indice NewDist diminuisce di 16 metri. Lo stesso comportamento viene espresso dagli altri due indici, i quali diminuiscono anche in questo intervallo, anche se in maniera meno marcata rispetto a prima.

Tabella 21: Comune di Lodi: SPX, CoreDiss e NewDist con relative variazioni

SPX ₁₉₉₉ [-]	SPX ₂₀₀₇ [-]	SPX ₂₀₁₂ [-]	$\Delta_{2007-1999}$ [-]	$\Delta_{2012-2007}$ [-]
213,8	198,4	196,6	-15,4	-1,8
CoreDiss ₁₉₉₉ [m]	CoreDiss ₂₀₀₇ [m]	CoreDiss ₂₀₁₂ [m]	$\Delta_{2007-1999}$ [m]	$\Delta_{2012-2007}$ [m]
1.244	1.165	1.103	-79	-62
NewDist ₂₀₀₇ [m]		NewDist ₂₀₁₂ [m]	$\Delta_{2012-2007}$ [m]	
25		9	-16	

Data l'analisi effettuata e i risultati ottenuti dai tre indici, si può affermare che il Comune di Lodi presenta alcuni tratti dello *sprinkling* ma, in particolare, si può associare alle peculiarità riguardanti lo *sprawl*. Infatti la frammentazione è sì presente nelle aree più

aperte e lontane dal nucleo compatto, ma soprattutto a causa della situazione già esistente al 1999, e non come comportamento tenutosi nei 13 anni di studio. Risulta importante il ruolo dell'*urban sprawl* che si è verificato nella parte più centrale, sia grazie all'ampliamento del nucleo che alle conseguenze della costruzione della strada in direzione Nord-Sud. Sono molte le aree urbanizzate che hanno subito un aumento in superficie, con conseguente consumo di suolo agricolo, nell'intervallo di tempo analizzato.

5

IMPATTO ECONOMICO DELLA NUOVA FRAMMENTAZIONE URBANA

L'analisi spaziale sulle diverse forme di urbanizzazione eseguita nel Capitolo 4 ha permesso di comprendere in che modo è stato modificato il territorio della Provincia di Lodi nell'arco temporale che va dal 1999 al 2012. La causa di questo cambiamento è costituita dalle decisioni prese dai vari Comuni in relazione alla tipologia di area di trasformazione, alla sua distanza dal nucleo comunale, al livello di dispersione rispetto alle aree già esistenti ed al conseguente grado di frammentazione risultante. Quest'ultimo capitolo ha lo scopo di trasferire le informazioni e i risultati ottenuti dal campo geometrico/spaziale a quello economico, in modo tale da quantificare in termini monetari, con **forti semplificazioni**, le ricadute che possono gravare sulla collettività con l'insediamento di nuove aree localizzate in maniera dispersa rispetto all'urbanizzato già esistente.

Come è possibile vedere in Figura 7, una crescita "metastatica" dell'urbanizzazione, tipica del fenomeno dello *sprinkling*, comporta una continua realizzazione di aree antropizzate senza un preciso continuum territoriale; queste superfici dovranno, alla lunga, essere accompagnate dalla creazione di infrastrutture stradali (e non) aggiuntive, comportando ovviamente una ricaduta sia ambientale che socioeconomica.

In particolare, verrà posta attenzione ai costi riguardanti la costruzione di nuove strade, la realizzazione e gestione degli impianti di illuminazione, l'aggancio di nuove installazioni per il convogliamento di acque nere e bianche alla rete esistente, ed infine quello generalizzato del trasporto connesso all'utilizzo del mezzo privato.

5.1 PROCEDIMENTO

La scala spaziale presa in considerazione per le valutazioni economiche, analizzate in dettaglio nel Paragrafo 5.2, coincide con l'intera Provincia di Lodi. È stata fatta questa scelta poiché, come è possibile vedere in Figura 38, risulta più significativa per gli scopi prefissati. La scala temporale è delimitata dai due estremi, ovvero il 1999 e il 2012 (DUSAF 1.0 e 4, rispettivamente) in quanto si può ottenere una più utile stima economica causata dalle differenze nette di urbanizzazione in un unico intervallo.

Le valutazioni di tipo economico eseguite hanno richiesto delle precise analisi spaziali riguardanti le distanze tra le nuove aree insediate in maniera dispersa, cioè non in adiacenza a quelle preesistenti, sia con la rete stradale che con la rimanente urbanizzazione. Viene utilizzata per questo scopo la rete stradale a scala 1:5.000 (file .shp; codice identificativo: L010107 - elemento stradale) ottenibile dal GEOPortale della Provincia di Lodi⁴. Dato che non è stato possibile ottenere questo dato ad una maggior risoluzione, si è supposto la non esistenza di strade oltre a quelle presenti in tale base di dati.

A seguire vengono esposti i passaggi necessari per l'ottenimento dei valori di **minima distanza** sia tra le nuove aree disperse con la rete stradale, sia tra le stesse e la rimanente urbanizzazione al medesimo istante temporale:

- Si procede alla rimozione dal DUSAF 1.0 e 4 delle reti stradali, ferroviarie e spazi accessori presenti, perché ridondanti e non dettagliati come la rete stradale utilizzata;
- Vengono fuse tra loro tutte le aree confinanti per entrambi gli istanti temporali (comando “**Dissolve**”). Con la differenza simmetrica si ottengono tutte le nuove aree di classe 11 e 12 insediate;
- Si vogliono però considerare solo le nuove superfici che non sono confinanti con altre e quindi considerate ‘disperse’. Il comando che permette tale operazione è “**Select layer by Location**” (seleziona le geometrie di uno shapefile in base alle relazioni spaziali che esse possiedono rispetto a quelle di un altro shapefile);
- A questo punto si può calcolare la minima distanza tra le nuove aree appena ottenute e la rete stradale tramite il comando “**Generate Near Table**” (Figura 36);

4. <http://cartografia.provincia.lodi.it/>

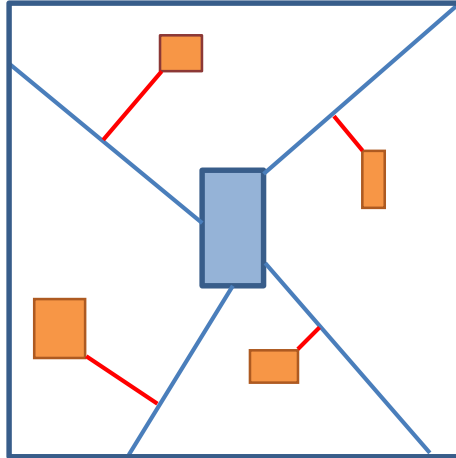


Figura 36: In blu vengono rappresentate le aree e la rete stradale già esistenti. In arancione le nuove aree insediate in maniera dispersa e in rosso gli eventuali nuovi collegamenti da realizzare per mettere in connessione queste nuove aree con la rete stradale principale (Fonte: elaborazione degli autori)

- Si effettua il calcolo delle minime distanze anche tra le aree disperse e quelle rimanenti (Figura 37):

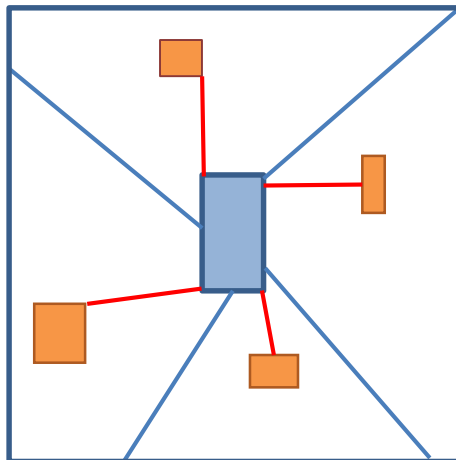


Figura 37: In blu vengono rappresentate le aree e la rete stradale già esistenti. In arancione le nuove aree insediate in maniera dispersa e in rosso gli eventuali nuovi collegamenti per mettere in connessione queste nuove aree con l'urbanizzato compatto (Fonte: elaborazione degli autori)

Questi risultati sottostanno la semplice analisi economica svolta nel prossimo paragrafo.

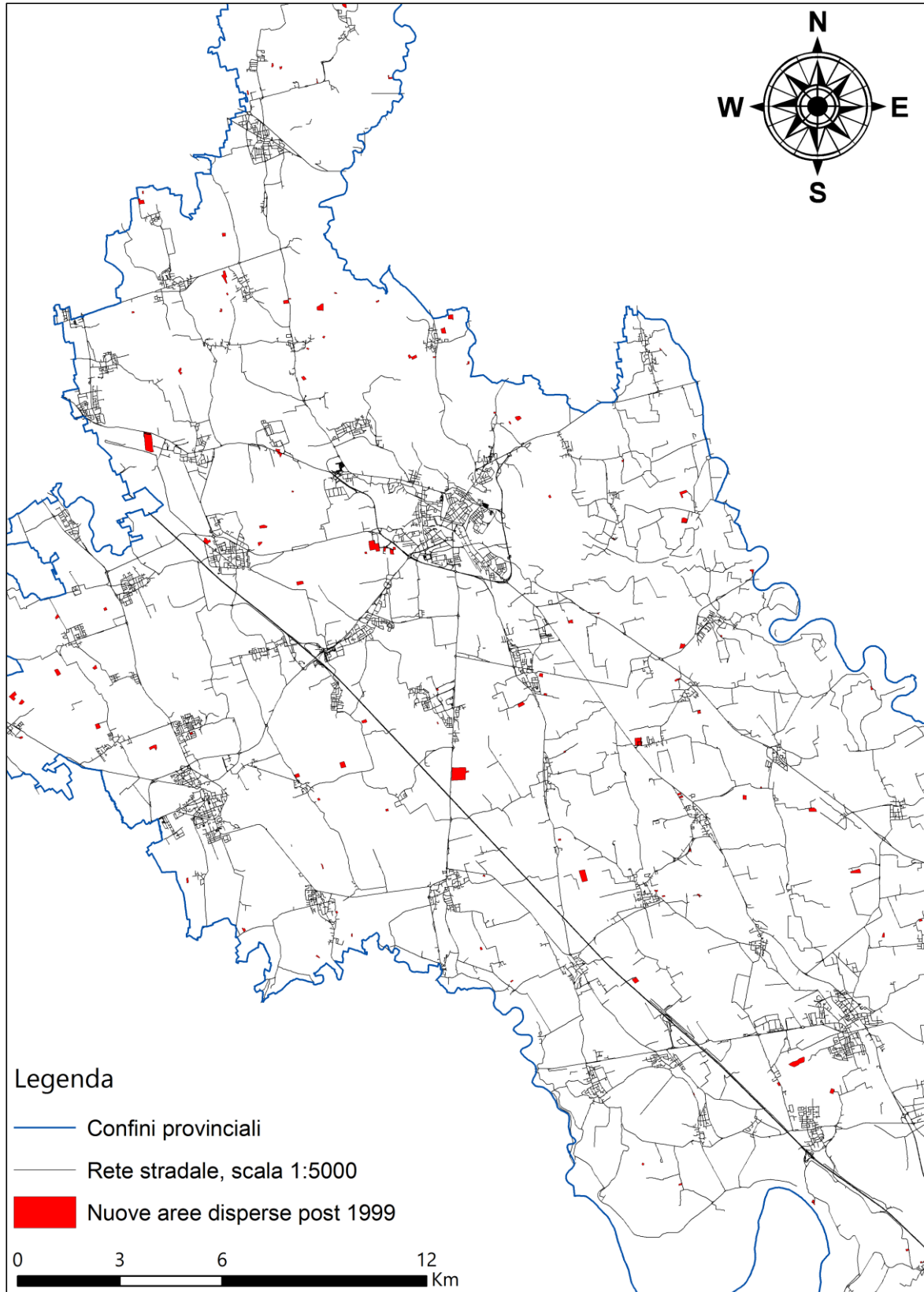


Figura 38: Zoom della mappa della rete stradale provinciale a scala 1:5.000 con le 160 nuove aree disperse (mappa generata con ArcGIS. Fonte: elaborazione degli autori)

5.2 QUANTIFICAZIONE MONETARIA

Nel seguito vengono descritti i criteri di base adottati nella determinazione dei costi articolati nelle diverse categorie, permettendo di valutare in termini monetari l'effetto che la nuova frammentazione del territorio ha sulla collettività.

Il prezzo di un'opera è influenzato in primo luogo dalla variabilità dei costi unitari dei fattori di capitale (macchinari, attrezzature, manufatti, energia, ecc.) e lavoro (nelle molteplici specializzazioni) impiegati nel processo di costruzione. Le stime effettuate per le diverse tipologie di opere, tra cui la realizzazione delle strade, delle fognature e dell'acquedotto, riguardano pertanto situazioni "medie", simili a quelle riscontrabili nella pianura veneta fino alla fascia pedemontana e di conseguenza adottabili anche nel contesto territoriale preso in esame⁵.

Per la stima degli oneri di realizzazione degli impianti di pubblica illuminazione e di drenaggio delle acque meteoriche è stato utilizzato il prezzario delle opere pubbliche della Regione Lombardia⁶.

I costi di realizzazione delle infrastrutture stradali sono stati calcolati considerando una sezione tipo di lunghezza unitaria (1 m). Per coerenza, si è assunto che tutte le nuove strade, realizzate sia per collegare i nuovi insediamenti alla reti stradali già esistenti che per collegare le aree disperse a quelle rimanenti, appartengano alla tipologia "Strada tipo F (due corsie e carreggiata, larghezza 9 m)". Il costo parametrico è di 403 € per metro lineare. Da questo dato si ricava di conseguenza quello al Km lineare, pari a 403.000 €.

Per gli impianti di fognatura (materiale per la tubazione: ghisa, diametro: 350 mm) ed acquedotto (materiale: ghisa, diametro: 150 mm) sono stati eseguiti dei ragionamenti analoghi, ottenendo rispettivamente dei valori pari a 253.680 € e 269.140 € al km lineare.

A seguire, si è cercato di stimare in maniera approssimativa, sia il costo di installazione che di servizio dell'illuminazione pubblica che dovrà essere realizzata su queste nuove strade.

Si suppone che vengano realizzati sempre i medesimi pali in acciaio (lunghezza: 6 m, diametro base: 114 mm, spessore: 3,4 mm), identificati nel prezzario della Regione Lombardia col codice E45010_c.

5. <http://www.regione.veneto.it/web/lavori-pubblici/prezzario-regionale>

6. <http://www.trasporti.regione.lombardia.it/>

Il costo, comprensivo di trasporto, di installazione e bloccaggio del palo nel basamento con sabbia e sigillatura superiore in cemento, di tutti i mezzi d'opera necessari per l'innalzamento del palo e collegamento alla cassetta di derivazione, è pari a 404,86 € cadauno. Pertanto, installando 28 pali al Km, e quindi distanti l'un l'altro circa 36 metri, si ha un onere di 11.336 €.

Romano et al. (2015) hanno mostrato come solo per la pubblica illuminazione si possa avere un consumo annuale di quasi 20 MWh per Km di strada.

L'ultima opera presa in considerazione, ma la più importante dal punto di vista ambientale, riguarda la realizzazione dei sistemi in grado canalizzare e drenare le acque meteoriche, capacità che il suolo possedeva a costo zero prima dell'urbanizzazione e conseguente artificializzazione dei terreni.

Viene assunta per lo scopo la realizzazione di canalette identificate nel prezzario regionale col codice E15063, costituite da embrici 50x50x20 cm, in conglomerato cementizio vibrocompresso, fornite e poste in opera secondo la massima pendenza delle scarpate stradali o delle pendici del terreno compreso lo scavo, la costipazione del terreno di appoggio delle canalette e il bloccaggio mediante tondini di acciaio. Il prezzo al Km è di 19.420 €.

Tabella 22: Costi unitari delle opere e dei servizi in progetto e relative fonti

Opere/servizi	Costo unitario	Fonte
Tronco stradale	€ 403 per metro lineare	Prezzario Regione Veneto, 2011
Fognatura di ghisa	€ 253,68 per metro lineare	Prezzario Regione Veneto, 2011
Acquedotto di ghisa	€ 269,14 per metro lineare	Prezzario Regione Veneto, 2011
Canalette di drenaggio	€ 19,42 per metro lineare	Prezzario Regione Lombardia, 2011
Palo per illuminazione	€ 404,86 cad.	Prezzario Regione Lombardia, 2011
Energia per illuminazione	€ 6.000 al Km per anno	Romano et al., 2015

Costi di realizzazione delle opere per il collegamento della nuova frammentazione con la rete stradale

Dopo aver calcolato, utilizzando il software ArcGIS, la minima distanza delle 160 aree risultanti disperse con la rete stradale, si è ottenuto un valore totale pari a circa 21 km.

Con i valori presentati nel Paragrafo 5.2 si ottengono i seguenti costi totali:

Tabella 23: Costi di realizzazione delle opere per il collegamento delle nuove aree disperse alla rete stradale

COSTO DI REALIZZAZIONE	
RETE STRADALE	€ 8.490.087
FOGNATURA	€ 5.344.331
ACQUEDOTTO	€ 5.670.030
DRENAGGIO	€ 409.125
ILLUMINAZIONE	€ 238.820
TOTALE	€ 20.152.393

La pubblica illuminazione, oltre che ai costi una tantum di realizzazione, ne comporta anche alcuni di servizio. Con un prezzo medio dell'energia elettrica di 0,30 € al kWh (Romano et al., 2015), si ha pertanto:

Tabella 24: Costo di servizio illuminazione pubblica per il collegamento delle nuove aree disperse alla rete stradale

CONSUMO ENERGETICO ANNUALE	COSTO SERVIZIO ANNUALE
421.344 kWh	€ 126.403

Costi di realizzazione delle opere per il collegamento della nuova frammentazione con il tessuto urbano compatto

Dopo aver calcolato la minima distanza delle 160 aree risultanti disperse rispetto a quelle preesistenti, si è ottenuto un valore totale pari a circa 25 km.

Con i valori presentati in Paragrafo 5.2 si ottengono i seguenti costi totali:

Tabella 25: Costi di realizzazione delle opere per il collegamento delle nuove aree disperse rispetto a quelle preesistenti

COSTO DI REALIZZAZIONE	
RETE STRADALE	€ 9.919.046
FOGNATURA	€ 6.243.830
ACQUEDOTTO	€ 6.624.347
DRENAGGIO	€ 477.985
ILLUMINAZIONE	€ 279.015
TOTALE	€ 23.544.223

Analogamente a quanto visto in precedenza, si ottiene:

Tabella 26: Costo di servizio illuminazione pubblica per il collegamento delle nuove aree disperse rispetto a quelle preesistenti

CONSUMO ENERGETICO ANNUALE	COSTO SERVIZIO ANNUALE
492.260 KWh	€ 147.678

5.3 COSTI ECONOMICI NEI DIVERSI SCENARI DI URBANIZZAZIONE

È doveroso ricordare come i costi economici ottenuti si basino sulle **minime distanze**, pertanto non vengono prese in considerazione quelle condizioni e quelle caratteristiche locali che potrebbero influenzare, sia positivamente che negativamente, il valore complessivo degli oneri di realizzazione delle opere.

Sono stati considerati **due possibili scenari**, che si differenziano a seconda di dove vengano posizionati i nuovi insediamenti rispetto all'urbanizzato esistente.

Con un'urbanizzazione compatta e/o a ridosso del tessuto già presente, non vi è la necessità di realizzare le opere infrastrutturali, come la rete stradale e i relativi servizi, se non in minime quantità; per tale motivo il costo stimato è approssimativamente tendente allo zero.

Nell'altro scenario si vede come la realizzazione di nuovi insediamenti dispersi e distanti sia dalla rete stradale che dal tessuto urbano esistente, possa comportare tutta una

serie di costi economici legati al collegamento di tali aree, il cui valore complessivo può ammontare a decine di milioni di euro.

Tabella 27: Costi stimati nei due scenari di urbanizzazione

Nuova urbanizzazione a ridosso del tessuto esistente	Nuova urbanizzazione distante dal tessuto esistente
≈ € 0	≈ € 44.000.000 ⁷

Una governance territoriale più accurata e sensibile rispetto al tema della frammentazione delle aree urbane, e di conseguenza in grado di ostacolare la nascita e/o lo sviluppo del fenomeno dello *sprinkling*, potrebbe essere in grado di ridurre notevolmente le spese pro capite a parità di tipologie edilizie e di qualità prestazionale delle stesse. I risparmi risultanti andrebbero estesi alla fornitura e alla gestione di tutti i servizi di rete, tra cui, oltre a quelli già analizzati, vanno annoverate le adduzioni telefoniche e di gas, i trasporti pubblici e la raccolta dei rifiuti domestici.

Dal punto di vista economico, il passaggio dalla scala provinciale a quella comunale, porta con sé una ulteriore tipologia di ragionamento, legata alla distanza che intercorre tra le urbanizzazioni esterne al nucleo “compatto” e il nucleo stesso. Difatti, supponendo che la prevalenza dei servizi (ad esempio: scuole, uffici comunali, ecc.) risieda all’interno del nucleo, è ovvio che una più grande lontananza da esso comporti un maggior costo generalizzato del trasporto.

Quest’ultimo può essere visto come somma di tre componenti:

1. I **costi monetari** di trasporto associati all’uso del veicolo (costi per la trazione ed oneri accessori);
2. Il **costo** (monetario o monetizzabile) **delle esternalità positive** (crescita del reddito e delle attività economiche) e **negative** (sicurezza, inquinamento ambientale);
3. Il **costo del tempo** (monetizzato) necessario per lo spostamento (da imputare alle persone o cose che devono essere trasportate).

7. La cifra ottenuta, relativa alla somma dei costi totali di realizzazione delle opere nei due casi trattati nel Paragrafo 5.2, è fortemente influenzata dalle semplificazioni che hanno coinvolto il procedimento. Deve essere pertanto considerata come una stima e non come un costo effettivo di progetto.

Il costo del tempo è a sua volta distinguibile in funzione dello scopo del viaggio ed in generale può essere relativo alle seguenti categorie:

- Motivi di lavoro;
- Tempo libero;
- Merci.

La seguente tabella sintetizza il costo del tempo in relazione alla tipologia dello spostamento; si vede chiaramente come, qualsiasi sia il motivo dello spostamento, una urbanizzazione distante dal nucleo comunale comporti dei costi sempre maggiori rispetto ad una adiacente ad esso.

Tabella 28: Costo del tempo [€/passeggero*ora] per motivo ed ambito di spostamento (TRT - Trasporti e Territorio, 2003)

Ambito	Motivo dello spostamento		
	Non specificato/lavoro	Affari	Altri motivi
Non specificato	4,5	14 - 18	3,5 - 4,5
Urbano	4 - 5	12 - 15	3 - 4
Extraurbano	5 - 6	15 - 20	4 - 5

Da quanto analizzato in questo capitolo si può evincere come l'insediamento di nuove urbanizzazioni distanti dal cuore del Comune e per di più frammentate, conformazione tipica del fenomeno dello *sprinkling*, comporti tutta una serie di costi economici a carico della collettività, del privato cittadino e dell'ambiente.

CONCLUSIONI

Come si è visto nei primi due capitoli, lo *sprawl* ed il meno noto *sprinkling* sono due tipologie di urbanizzazione che influenzano direttamente (e non) il territorio, con un rilevante impatto sul paesaggio, sull'ambiente con le sue funzioni ecosistemiche, e sulla risorsa suolo, quest'ultima fondamentale tanto per il ruolo importantissimo che gioca in natura, tanto per la sua peculiarità di essere base necessaria per la produzione di cibo.

Ci si è pertanto focalizzati sullo studio dello *sprinkling*, il quale ha come caratteristica quella di avere un pattern fortemente frammentato e con delle densità edilizie e residenziali molto basse, con aree urbanizzate sparse un po' qua e un po' là e apparentemente senza un ordine esatto. Questi precisi connotati hanno diversi impatti ambientali e, come si è visto nel Capitolo 5, economici sulla collettività.

Si è provato a comprendere, utilizzando la Provincia di Lodi come area campione, se nel corso dei tredici anni intercorsi tra la prima banca dati accessibile dal GEOPortale della Lombardia (DUSAF 1.0) e la più recente (DUSAF 4) i vari Comuni del lodigiano abbiano teso verso una situazione di maggior frammentazione delle aree urbanizzate, condizione necessaria per lo *sprinkling*, piuttosto che verso lo *sprawl*.

Non avendo tutti i dati necessari per uno studio a scala sub-comunale, è stata fatta un'analisi Comune per Comune con informazioni riguardanti gli usi del suolo, sintetizzati proprio nei citati file DUSAF che, essendo riferiti a determinati anni ed aggiornati costantemente, permettono di cogliere le differenze nel tempo.

Per quantificare la frammentazione di un Comune sono stati utilizzati tre particolari indici geometrici (**SPX**, **CoreDiss** e **NewDist**) per uno scopo ben preciso: comprendere come i nuovi consumi di suolo abbiano modificato e/o aggravato il margine urbano dei paesi e delle città lodigiane.

Queste tre tipologie di analisi geometriche sono state eseguite per altrettanti istanti temporali: 1999, 2007 e 2012; pertanto, si è potuta avere una comprensione dei cambiamenti temporali oltre che spaziali.

Sulla base dei risultati ottenuti si è provato a dare un giudizio più o meno qualitativo per ogni Comune (Rif. APPENDICE 3), distinguendo quello che ha consumato suolo in adiacenza all'urbanizzato già esistente (come ad esempio il nucleo comunale), da quello che invece ha aggravato la dispersione fra le varie aree, condizione che può far nascere o rafforzare lo *sprinkling*.

Nell'ultimo Capitolo, il quinto, basandosi sulla locazione delle superfici urbanizzate disperse (insediate dopo il 1999) rispetto alla rete stradale della Provincia di Lodi e alle aree rimanenti, è stato quantificato l'impatto economico che la nuova frammentazione scarica sulla società. Chiaramente queste valutazioni si basano su una serie di semplificazioni che filtrano a priori tutte quelle condizioni locali che possono far variare sia positivamente che negativamente i valori ottenuti, ma non importa: difatti con il Capitolo 5 si è potuto dedurre come una pianificazione territoriale più accurata, che tenga conto della frammentazione già esistente non aggravandola, può risparmiare far milioni di euro alla collettività (Tabella 27).

In conclusione, si è potuto dimostrare come nella Provincia di Lodi, i Comuni con conformazioni spaziali riconducibili a situazioni di *sprinkling* siano in numero di gran lunga inferiore a quelli che presentano una diffusione urbana in continuità di aggregato tipica dello *sprawl* (Rif. APPENDICE 3); i più significativi sono:

- Caselle Landi;
- San Fiorano;
- Corno Giovine;
- Santo Stefano Lodigiano;
- Graffignana;
- Maleo;
- Castelnuovo Bocca d'Adda;
- Senna Lodigiana;
- San Rocco al Porto.

In generale la frammentazione al livello provinciale è notevole e dettata dalla matrice rurale (cascine e insediamenti produttivi agricoli), infatti i Comuni localizzati nella parte più meridionale (Figura 29, 30, 31) sono quelli caratterizzati da un pattern spaziale più

frammentato. Ciò è quasi sicuramente causato dal fiume Po che, con la sua presenza, influisce sulla vocazione agricola ed agro-alimentare della zona.

BIBLIOGRAFIA

- Antrop M. (2004), *Landscape Change and Urbanization Process in Europe*, Landscape and Urban Planning, 67: 9-26.
- APAT (2008), *Il suolo, la radice della vita*, APAT, Roma.
- Bhatta B., Saraswati S., Bandyopadhyay D. (2010), *Urban sprawl measurement from remote sensing data*. Applied geography, n. 30, pp. 731-740.
- Benfield F.K., Raimi M.D., Chen D.T. (1999), *Once there were greenfields: how urban sprawl is undermining America's environment, economy, and social fabric* (New York: Natural Resources Defense Council, 1999).
- Bengston D. N., Fletcher J. O., Nelson K. C. (2004), *Public policies for managing urban growth and protecting open space: policy instruments and lessons learned in the United States*, in Landscape and Urban Planning vol.69, pp. 271-286.
- Blum W.E.H. (2005), *Functions of Soil for Society and the Environment*, Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 2005-4: 75-79.
- Brenna S. (2012), *Effetti ambientali del consumo di suolo*, ERSAF (Ente Regionale per i servizi all'Agricoltura ed alle Foreste per la Lombardia).
- Burchell R. W., Shad N. A., Listokin D., Phillips H., Downs A., Seskin S., Davis J., Moore T., Helton D., Gall M. (1998), *The cost of sprawl – revisited*, report 39, Transit Cooperative Research Program (TCRP) Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, pp. 83-125.
- Burchell R. W., Lowenstein G., Dolphin W. R., Galley C. C., Downs A., Seskin S., Gray Still K., Moore T. (2002), *Costs of Sprawl 2000*, National Academy Press, Washington DC.
- Commissione Europea (2006), *Strategia tematica per la protezione del suolo*, COM(2006) 231. Bruxelles, 22.9.2006.
- Commissione Europea (2011a), *Report on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects*. Technical Report 2011-050.
- Commissione Europea (2012a), *Attuazione della strategia tematica per la protezione del suolo e attività in corso*, COM(2012) 46. Bruxelles, 13.2.2012.
- Commissione Europea (2012b), *Orientamenti in materia di buone pratiche per limitare, mitigare e compensare l'impermeabilizzazione del suolo*. Bruxelles, 15.5.2012, SWD (2012) 101.
- Deal B., Schunk D. (2004), *Spatial dynamic modeling and urban land use transformation: a simulation approach to assessing the costs of urban sprawl*. Ecological Economics 51 (1-2), 79-95.

- Downs A. (1999), *Some Realities about Sprawl and Urban Decline*.
- EEA (2011), *Landscape fragmentation in Europe*. EEA report, n. 2.
- Eiden G., Kayadjanian M., Vidal C. (2000), *Capturing landscape structures: Tools*. From Land Cover to landscape diversity in the European Union.
- Ewing R. (1994), *Characteristics, causes, and effects of sprawl: a literature review*.
- Ewing R. (1997), *Is Los Angeles-style sprawl desirable?*
- Fasolini D., Manetta S., Sale V. M., Credali M., Dal Puppo D., Norcini A., Agostoni F. (2010), *DUSAF, Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali*, ERSAF.
- Franz G., Maier G., Schröck P. (2006), *Urban sprawl: how useful is this concept?*
- Fulton W. (2001), *Who sprawls most? How growth patterns differ across the U.S.*
- Fumanti F. (2009), *Il suolo e le acque meteoriche*. In: Focus su "Il suolo, il sottosuolo e la città" - V Rapporto ISPRA Qualità dell'ambiente urbano.
- Galster G., Hanson R., Wolman H., Coleman S., Freihage J. (2001), *Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive concept*.
- Gardi C., Dall'Olio N., Salata S. (2013), *L'insostenibile consumo di suolo*, Edicom Edizioni, Monfalcone.
- Gassner E. (1978), *Zersiedelung im Umland, Problematik und Abwehrstrategie*.
- Gibelli M. C., Salzano E. (a cura), (2006), *No Sprawl*, Alinea, Firenze.
- Glaeser E. L., Kahn M. E. (2003), *Sprawl and Urban Growth*.
- Haase D., Nuißl H. (2007), *Does urban sprawl drive changes in the water balance and policy? The case of Leipzig (Germany) 1870-2003*. Landscape and Urban Planning 80 (1), 1-13.
- Hai P. M., Yamaguchi Y. (2008), *Characterizing the urban growth of Hanoi, Nagoya, and Shanghai city using remote sensing and spatial metrics*. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008.
- Haygarth P.M., Ritz K. (2009), *The Future of Soils and Land Use in the UK: Soil Systems for the Provision of Land-Based Ecosystem Services*. Land Use Policy, 26/1: 5187-5197.
- Herold M., Goldstein N. C., Clarke K.C. (2003), *The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling*. Remote Sensing of Environment, n. 86, pp. 286-302.
- ISPRA (2013a), *Annuario dei dati ambientali, Tematiche in primo piano*, ISPRA, Roma.
- ISPRA (2015), *Il consumo di suolo in Italia, Rapporti 218/2015*, ISPRA, Roma.
- Jaeger J. A. G. (2000), *Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation*. Landscape Ecology, n. 15, pp. 115-130.

- Jaeger J. A. G., Bertiller R., Schwick C., Kienast F. (2010), *Suitability criteria for measures of urban sprawl*, ELSEVIER.
- Ji W. (2008), *Landscape effects of urban sprawl: spatial and temporal analyses using remote sensing images and landscape metrics*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, n. 37, pp. 1691-1694.
- Johnson M.P. (2001), *Environmental impacts of urban sprawl: a survey of the literature and proposed research agenda*, Environment and Planning 33(4): 717-735.
- Lelli C., Pezzi G. (2012), *Urban sprawl, come valutare l'urbanizzazione*, Ecoscienza, numero 5.
- Li X., Yeh A. G. O. (2004), *Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS*. Landscape and Urban planning, n. 69, pp. 335-354.
- Longley P., Batty M., Chin N. (2002), *Sprawling Cities and Transport: preliminary findings from Bristol*.
- McGarigal K., Cushman S. A., Neel M. C., Ene E. (2002), *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps*.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. *Ecosystem and Human Well being: A Framework for Assessment*. Island Press.
- Pendall R. (1999), *Do Land Use Controls Cause Sprawl?*
- Pileri P. (2007), *Compensazione ecologica preventiva. Principi, strumenti e casi*. Carocci Editore, Roma.
- Pileri P., Granata E. (2012), *Amor Loci. Suolo, ambiente, cultura civile*, Libreria Cortina, Milano.
- Pileri P. (2015), *Che cosa c'è sotto. Il suolo, i suoi segreti, le ragioni per difenderlo*. Altreconomia Edizioni. Milano.
- Power A. (2001), *Social exclusion and urban sprawl: Is the rescue of cities possible?*, Regional Studies 35 (8), 731-742.
- Price S. J., Dorcasa M. E., Gallantb A. L., Klaverb R. W., Willsonc j. D. (2006), *Three decades of urbanization: estimating the impact of land-cover change on stream salamander populations*. Biological Conservation 133 (4), 436-441.
- Pumain D. (2003), *Urban Sprawl: Is there a French Case?*
- Romano B., Zullo F., Cargini M., Febo D., Iezzi C., Mazzola M., Rollo P. (2011), *Gli stati e le dinamiche dei processi insediativi e infrastrutturali di trasformazione dei suoli in Italia*, Ri-Vista ricerche per la progettazione del paesaggio.
- Romano B. (2002), *Evaluation of urban fragmentation in the ecosystems*. International Conference on Mountain Environment and Development (ICMED), Chengdu, Sichuan, China.

- Romano B., Zullo F. (2014), *The urban transformation of Italy's Adriatic Coast Strip: fifty years of unsustainability*. Land Use Policy 38:26-36.
- Romano B., Zullo F. (2014b), *Dai modelli trasformativi alla politica per il suolo: Riflessioni su mezzo secolo di eventi*, Reticula, n. 7/2014.
- Romano B., Zullo F. (2015), *Il riassetto del suolo urbano italiano: questione di 'sprinkling', in Territorio*, Franco Angeli, Milano.
- Santolini R., 2010, *Servizi ecosistemici e sostenibilità*, Ecoscienza, Numero 3.
- Sargolini, M., 2010. *Adriatic urban sprawl and environmental continuity*; in: Lardon S., Marraccini E., Bonari E., (Eds) *Agricultural management in peri-urban areas*, Felici Editore srl, Pisa, 86-93.
- Scalenghe R., Ajmone Marsan F. (2009), *The Anthropogenic Sealing of Soils in Urban Areas*, Landscape and Urban Planning 90(1-2): 1-10.
- Siedentop S. (2005), *Urban Sprawl – verstehen, messen, teuern*. DISP 160. Zurich, 23-35.
- Siedentop S., Schiller G., Koziol M., Walther J., Gutsche J. M. (2006), *Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten – Bilanzierung und Strategieentwicklung*. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.
- Sudhira H.S., Ramachandra T. V., Jagadish K.S. (2004), *Urban sprawl: metrics, dynamics and modelling using GIS*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, n. 5, pp. 29-39.
- Torrens P. M., Alberti M. (2000), *Measuring sprawl*. Unpublished paper n. 27 University College, London. Centre for advanced spatial analysis.
- Turbé A., De Toni A., Benito P., Lavelle P., Lavelle P., Ruiz N., Van der Putten W.H., Labouze E., Mudgal S. (2010). *Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers*. Bio Intelligence Service, IRD, and NIOO, Technical Report European Commission (DG Environment) 2010-049.
- Wells N M., Ashdown S. P., Davies E. H. S., Cowett F. D., Yang Y. (2007), *Environment, design, and obesity: opportunities for interdisciplinary collaborative research*. Environment and Behavior 39 (1), 6-33.
- Yang X., Lo C. P. (2002), *Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area*. International Journal of Remote Sensing 23 (9), 1775-1798.
- Verzosa L. C. O., Gonzalez, R. M. (2010), *Remote sensing, geographic information systems and Shannon's entropy: measuring urban sprawl in a mountainous environment*. ISPRS TC VII Symposium, vol. 38, parte 7A.

SITOGRAFIA

<http://www.tuttitalia.it/lombardia/provincia-di-lodi/statistiche/censimento-2011/>

<http://www.tuttitalia.it/lombardia/provincia-di-lodi/statistiche/popolazione-andamento-demografico/>

<http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>

<https://it.wikipedia.org>

<http://www.provincia.lodi.it/>

<http://cartografia.provincia.lodi.it/>

<http://www.regione.veneto.it/web/lavori-pubblici/prezzario-regionale>

<http://www.trt.it>

<http://www.cices.eu>

APPENDICE 1

SOFTWARE UTILIZZATI

In questo lavoro di Tesi sono stati utilizzati due software GIS (*Geographic Information System*). Con tale sigla si vuole indicare un sistema informativo computerizzato che permette l'acquisizione, la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geografici georeferenziati, associando ad ogni elemento una o più informazioni alfanumeriche.

A1.1 ARCGIS

Una applicazione utilizzata è ArcGIS di ESRI[®], software proprietario⁸, una suite integrata di applicazioni GIS avanzate, disponibili in tre livelli funzionali: ArcView, ArcEditor e ArcInfo.

8. Il software proprietario, chiamato anche privato, non libero, o closed source, è un software la cui licenza consente al beneficiario il suo utilizzo sotto particolari condizioni ed impedendone altre come la modifica, la condivisione, lo studio, la redistribuzione.

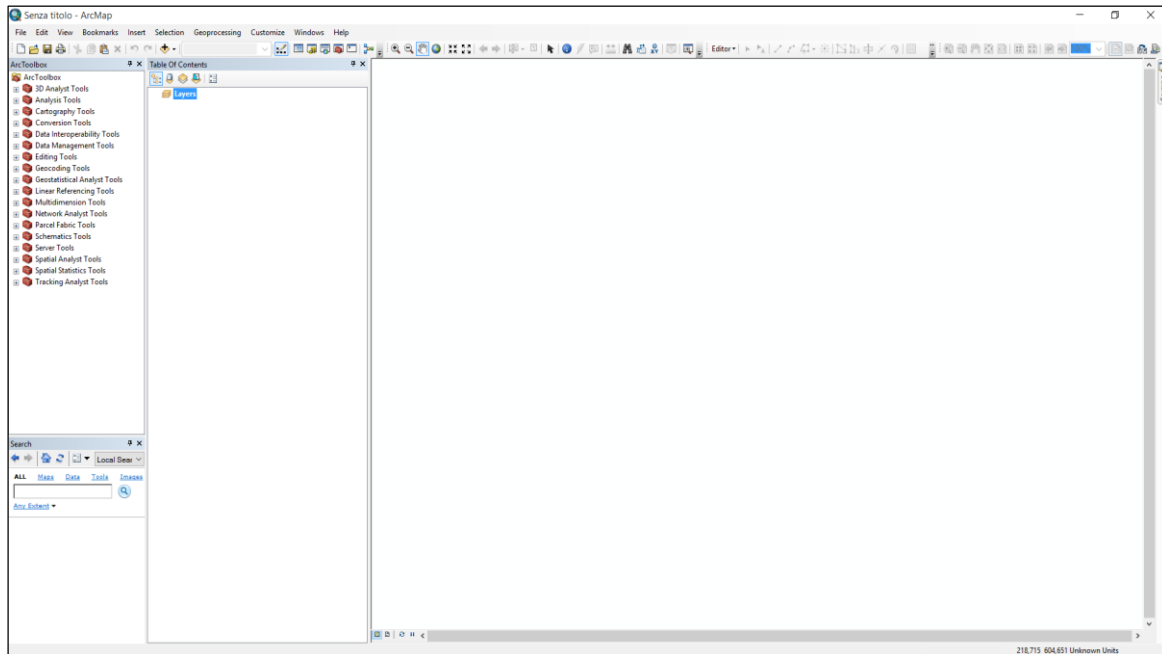


Figura 39: Interfaccia grafica di ArcGIS 10.2.2

Per la rappresentazione di dati georeferenziati occorre formalizzare un modello rappresentativo flessibile che si adatti ai fenomeni reali. Nel GIS questo viene realizzato attraverso tre tipologie di informazioni:

1. **Geometriche**, ossia relative alla rappresentazione cartografica degli oggetti, quali la forma (punto, linea, poligono), la dimensione e la posizione geografica;
2. **Topologiche**, ovvero riferite alle relazioni reciproche tra gli oggetti (ad esempio connessione, adiacenza, inclusione);
3. **Informative**, ovvero riguardanti i dati (numerici, testuali) riferiti a ciascun oggetto.

La gestione di tali informazioni avviene tramite un database relazionale, mentre la loro elaborazione è supportata da una vasta gamma di funzionalità. La loro codifica avviene attraverso due tipologie principali di dati: i dati vettoriali e i dati raster.

I dati vettoriali sono costituiti da elementi semplici quali punti, linee e poligoni, codificati e memorizzati sulla base delle loro coordinate e a ciascuno dei quali è associato un record del database informativo che contiene tutti gli attributi dell'oggetto rappresentato.

I dati raster schematizzano il mondo reale attraverso una matrice di celle dette “pixel”, a ciascuna delle quali sono associate le informazioni relative all’elemento rappresentato. La dimensione del pixel è strettamente connessa con la precisione del dato.

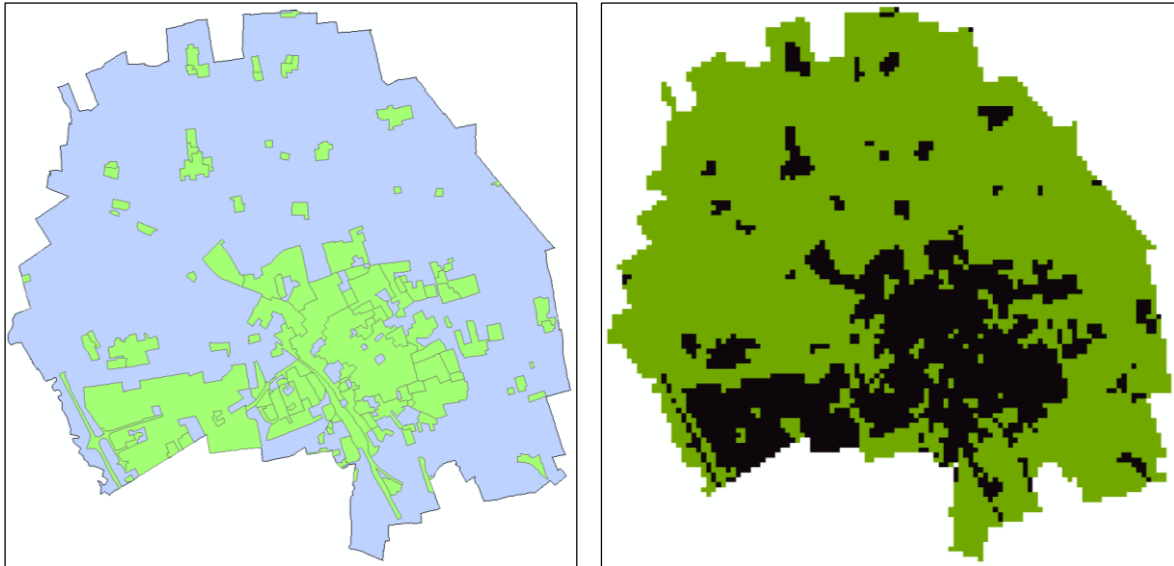


Figura 40: Comune di Codogno, dato DUSAF 4, in formato vettoriale a sinistra, raster a destra (Fonte: elaborazione degli autori)

Tali informazioni sono utilizzabili dall’utente con diversi approcci: geodatabase, geovisualizzazione e geoprocessing. In ArcGIS questi approcci sono rappresentati rispettivamente da ArcCatalog, ArcMap e ArcToolbox.

I dati DUSAF necessari allo svolgimento sono dati utilizzabili dal GIS in quanto costituiti da *shapefile*: si servono di enti geometrici (punti, linee, poligoni) per rappresentare porzioni di territorio occupate dai diversi usi del suolo, infrastrutture, elementi naturali, limiti amministrativi ecc. Uno shapefile è l’insieme di più file di cui alcuni obbligatori:

- .shp: il file che contiene le geometrie;
- .shx: il file che contiene l’indice delle geometrie;
- .dbf: il file che contiene il database degli attributi.

ArcGIS è stato di fondamentale importanza in quanto ha permesso l’utilizzo di alcune operazioni di geoprocessing che consentono di manipolare i dati spaziali, come i comandi

“Clip” e “Dissolve”, spiegati in dettaglio nel testo, ha permesso di intervenire sulle tabelle attributi creando nuovi campi ed infine di modificare alcune feature, come richiesto da alcuni casi particolari.

A1.2 QGIS

QGIS (un tempo noto come Quantum GIS) è un’applicazione desktop GIS, Open Source⁹, molto simile nell’interfaccia utente e nelle funzioni agli altri pacchetti GIS commerciali equivalenti. Più semplice da utilizzare ma con meno strumenti di analisi rispetto ad ArcGIS, è risultato molto utile nel lavoro svolto, soprattutto per quanto riguarda la creazione dei centroidi di tutti gli shapefile e per il plugin di Google Maps.

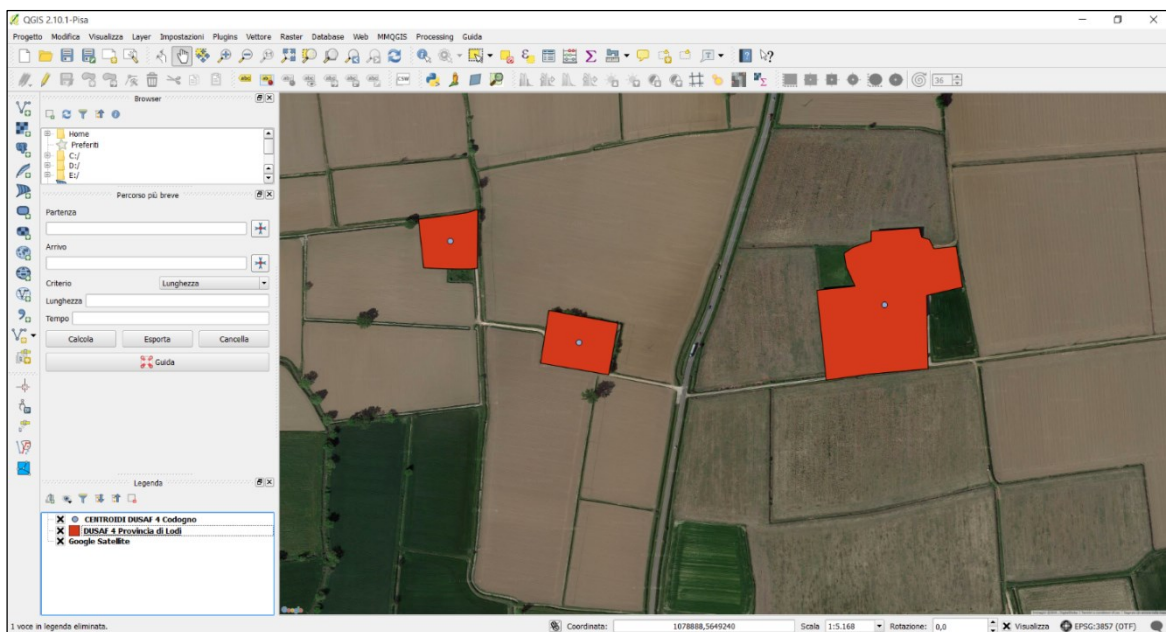


Figura 41: QGIS, patch con relativi centroidi, sovrapposte con immagine Google Satellite (Fonte: elaborazione degli autori)

9. Open source, in informatica, indica un software di cui gli autori (più precisamente i detentori dei diritti) rendono pubblico il codice sorgente, favorendone il libero studio e permettendo a programmatori indipendenti di apportarvi modifiche ed estensioni. Questa possibilità è regolata tramite l'applicazione di apposite licenze d'uso.

A1.3 FOGLIO DI CALCOLO

L'utilizzo di un foglio di calcolo compatibile con i software GIS utilizzati è stato essenziale. Il suo impiego ha consentito di organizzare i dati e le operazioni svolte sugli shapefile in tabelle esportabili dal GIS, così come ha permesso di elaborare le tabelle degli attributi ottenute al termine delle operazioni effettuate con il GIS medesimo. Grazie a tale strumento sono state inoltre possibili le operazioni di calcolo degli indici necessari, la classificazione dei Comuni rispetto a diverse statistiche, come la superficie oppure il numero di abitanti residenti, il plottaggio dei parametri d'interesse, ecc.

Per il presente lavoro è stato utilizzato Microsoft Excel®.

APPENDICE 2

APPROFONDIMENTO SUL COMANDO 'DISSOLVE' PER IL CALCOLO DELL'INDICE SPX

Come analizzato in dettaglio nel Paragrafo 3.4, l'operazione "Dissolve" è risultata necessaria per il corretto funzionamento dell'indice SPX.

Si ricorda come il comando "Dissolve" permetta a geometrie aventi almeno un punto in comune di poter essere fuse, trattate insieme e, di conseguenza, come un unico elemento nei calcoli di distanza che risultano necessari per la metrica.

Dissolvere i dati DUSAF a disposizione permette innanzitutto di filtrare tutte quelle problematiche che possono sorgere quando quella medesima area urbanizzata viene descritta, o meglio rappresentata, in maniera diversa in due istanti temporali differenti, come rappresentato in figura:

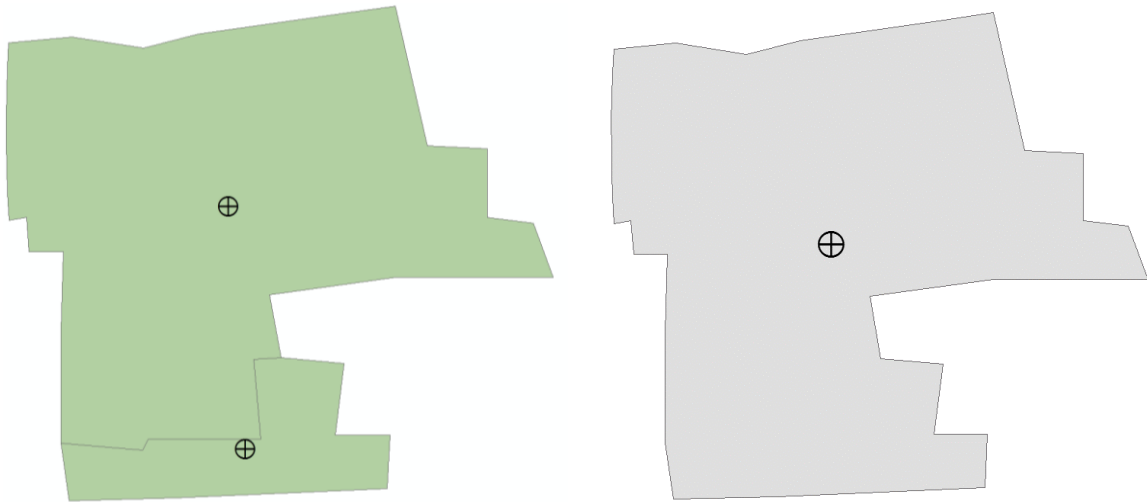


Figura 42: Una geometria del Comune di Terranova dei Passerini con relativi centroidi, dato DUSAF 1.0 in verde, e dato DUSAF 2.1 in azzurro. Da notare come a sinistra l'area venga descritta attraverso due aree confinanti, mentre a destra no (Fonte: elaborazione degli autori)

Come è possibile notare, diverse rappresentazioni della medesima geometria, possono causare delle distorsioni non trascurabili, rendendo di fatto impossibile una comparazione tra valori di SPX riferiti a istanti temporali differenti. Nel caso in esame, infatti, verrebbero contate per la geometria di sinistra due distanze tra i centroidi e il nucleo comunale al 1999, rispetto ad una distanza per il dato del 2007 (a parità di area ovviamente); ciò comporta una sovrastima di SPX_{1999} rispetto a SPX_{2007} , nonostante non si siano state aggiunte di fatto nuove aree urbanizzate.

Ma non solo: il “Dissolve” elimina un problema ben più grande, talmente grave che, se non applicato, renderebbe insensato l'indice SPX.

Si accompagna la spiegazione di tale problematica con una serie di immagini per renderla più comprensibile.

Si immagini di avere un Comune col proprio nucleo:



Figura 43: Nucleo non dissolto del Comune di Maleo con relativi centroidi

Si calcola l'indice SPX dividendo la somma delle distanze di tutti i centroidi (i pallini in Figura 43) rispetto al baricentro centrale (la stellina nella stessa figura), e il raggio del cerchio avente per area la somma di tutte le aree delle geometrie in gioco.

Supponendo ora di aggiungere una nuova area urbanizzata al nucleo del Comune (area puntinata in Figura 44):

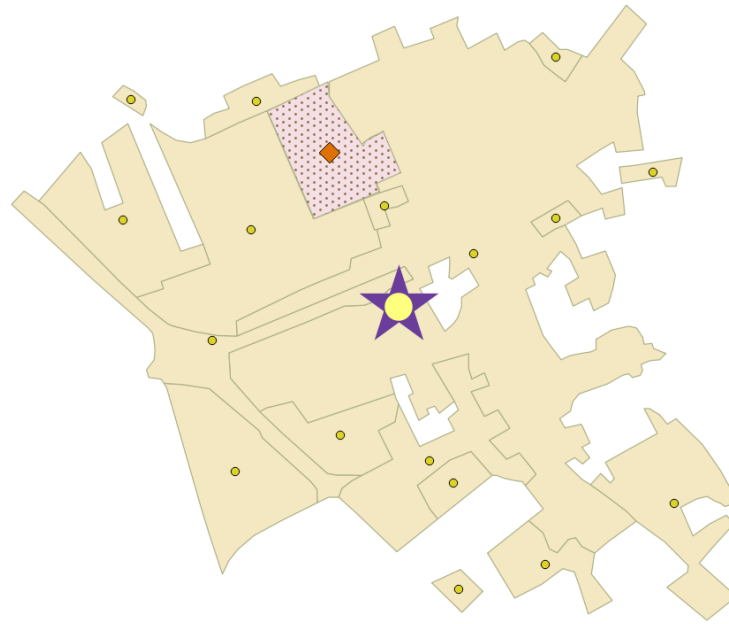


Figura 44: Nucleo non dissolto del Comune di Maleo e relativi centroidi dei poligoni, con una nuova area insediata

Nonostante di fatto il Comune risulti più compatto, o meglio, meno frammentato rispetto a prima, non dissolvendo le geometrie, l'indice SPX invece di diminuire, tende ad aumentare. Viene difatti contata una nuova distanza e una nuova area ma, essendo il contributo maggiore al numeratore della formula, aumenta di conseguenza il valore di SPX (vedere formula a Pagina 54). Risultato ovviamente non coerente con il significato dell'indice. Dopo aver applicato la dissoluzione delle geometrie, invece, l'aggiunta di nuove aree insediate ancorate al nucleo contribuirebbe a far crescere solamente il denominatore della formula, e non il numeratore essendo appunto una sola geometria (una sola distanza), concorrendo pertanto alla diminuzione di SPX, come dovrebbe essere in questi casi (Figura 45).

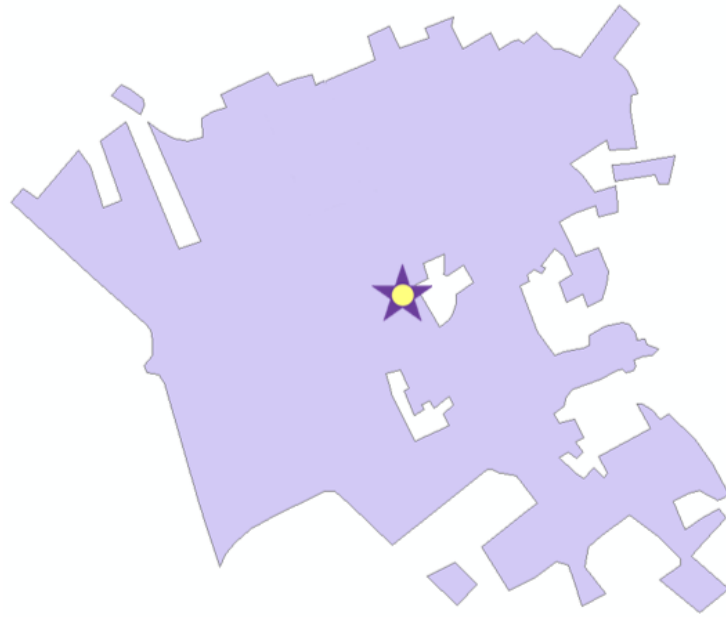


Figura 45: Nucleo dissolto del Comune di Maleo con il conseguente centroide di tutta l'area compatta

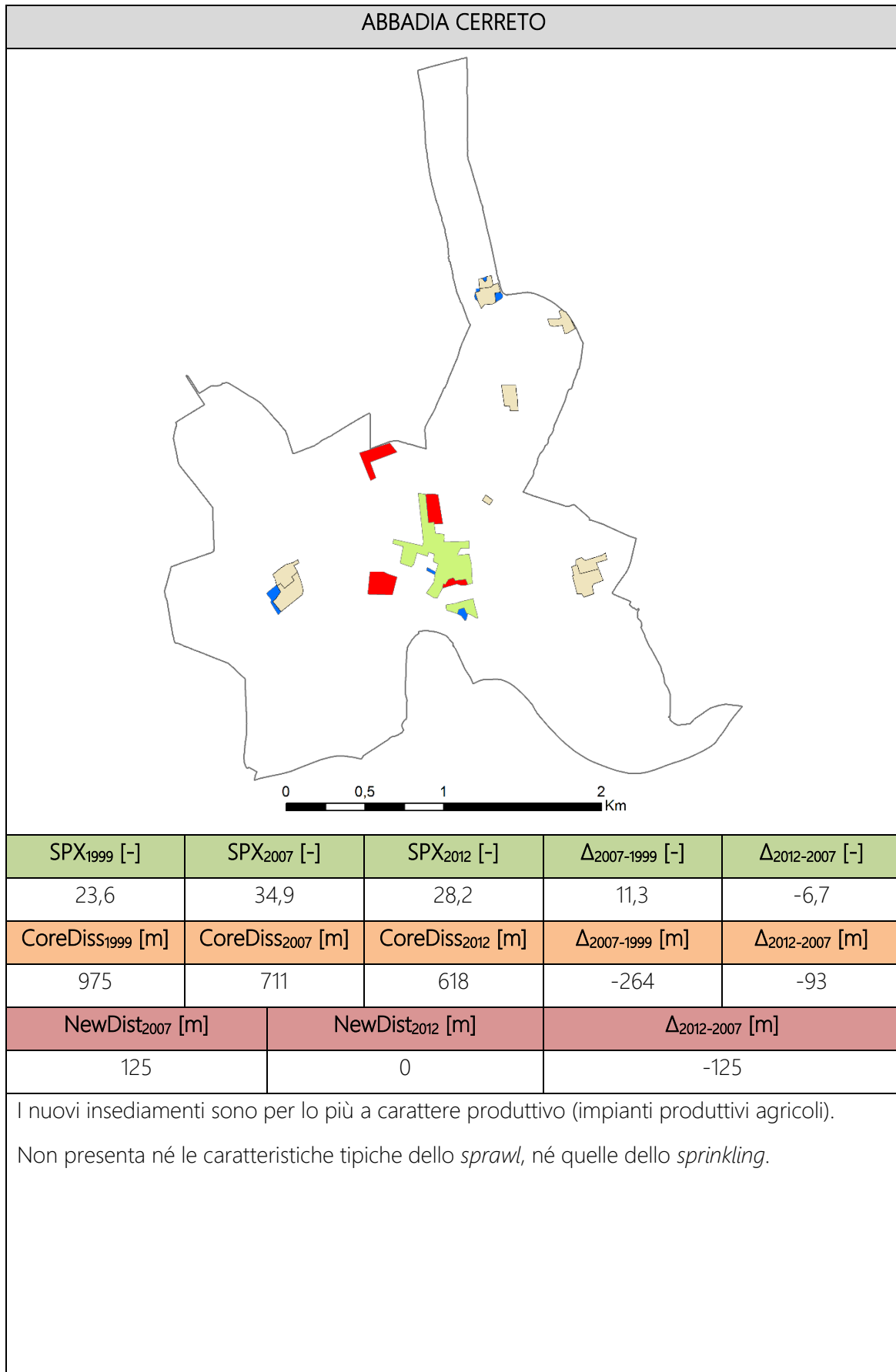
APPENDICE 3

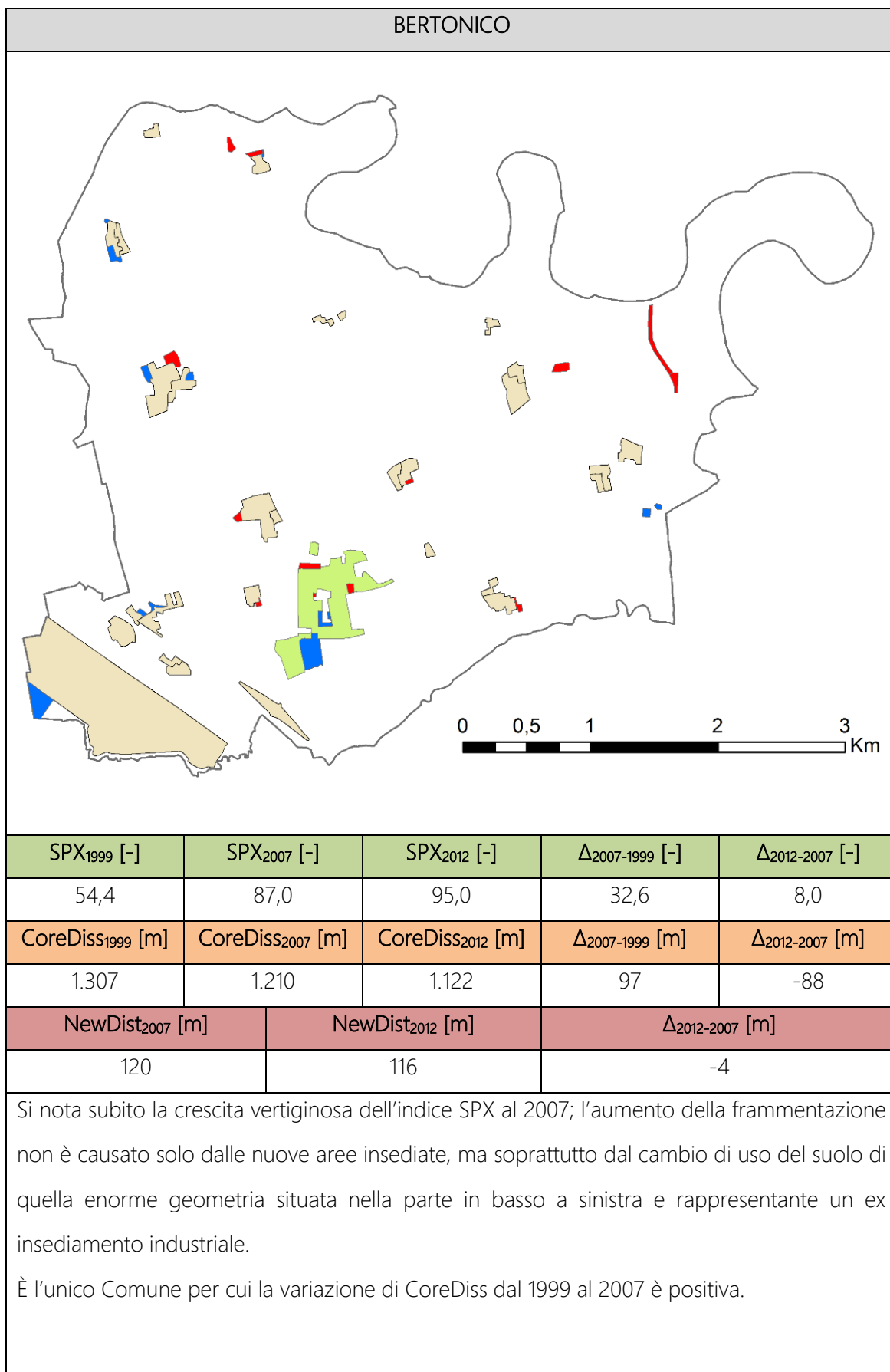
TABELLE DI ANALISI PER OGNI COMUNE

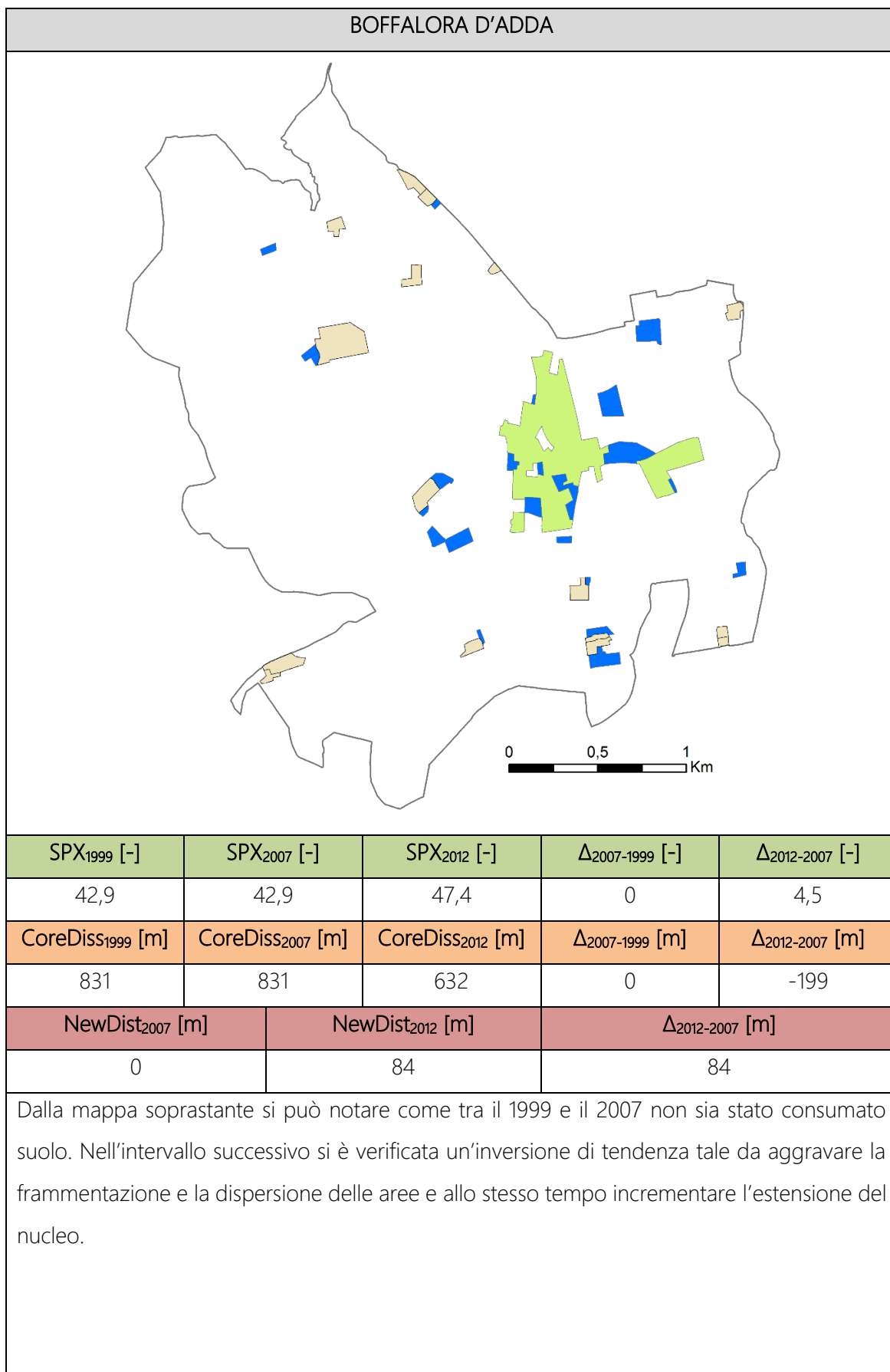
Vengono qui riportate tutte le tabelle per ogni singolo Comune (in totale 57, ad eccezione dei quattro già analizzati in dettaglio nel Paragrafo 4.4).

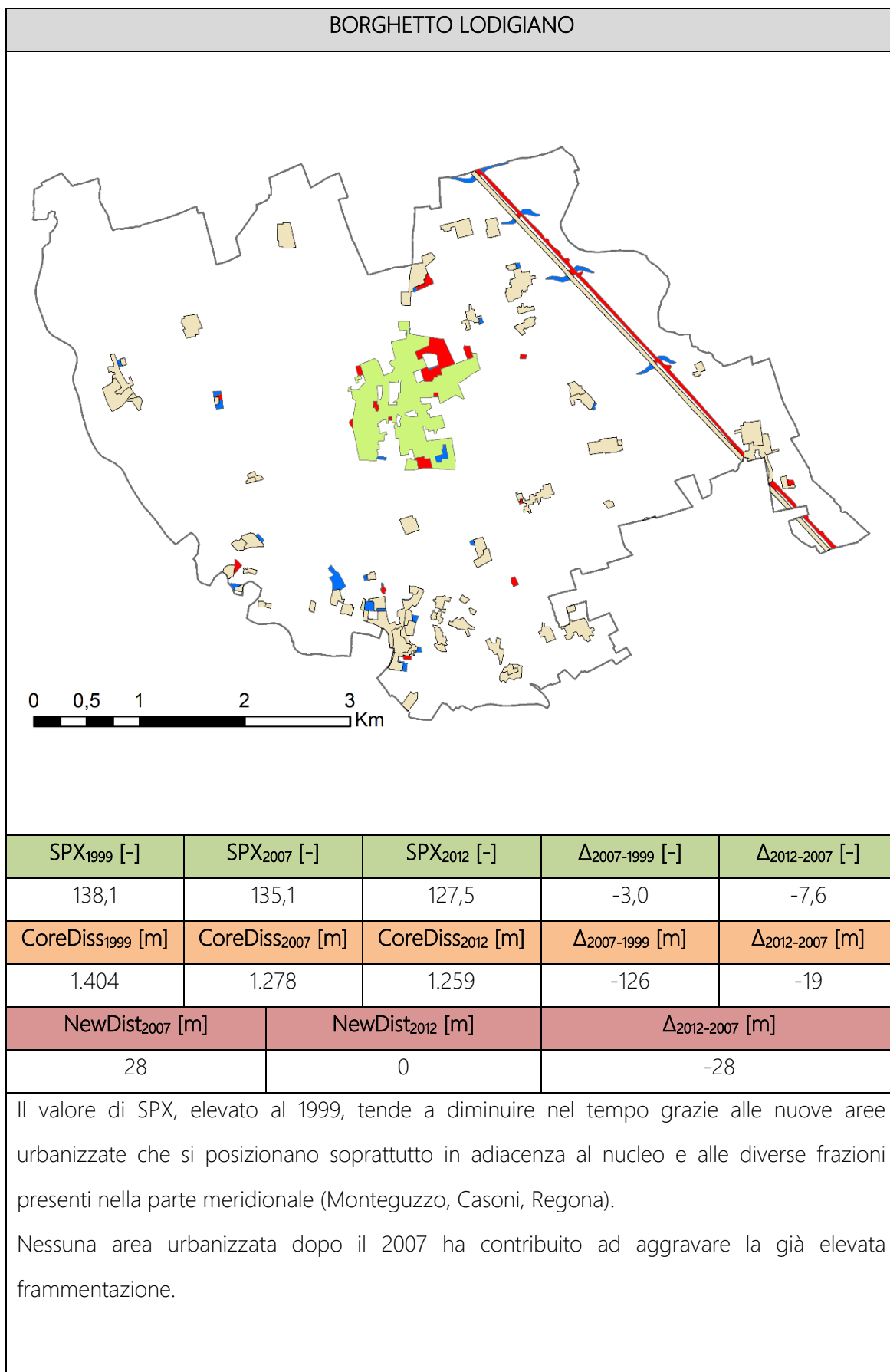
Si analizzano e commentano brevemente i risultati per ciascuno di essi, in relazione ai tre indici **SPX**, **CoreDiss** e **NewDist** valutati per tutti gli istanti temporali.

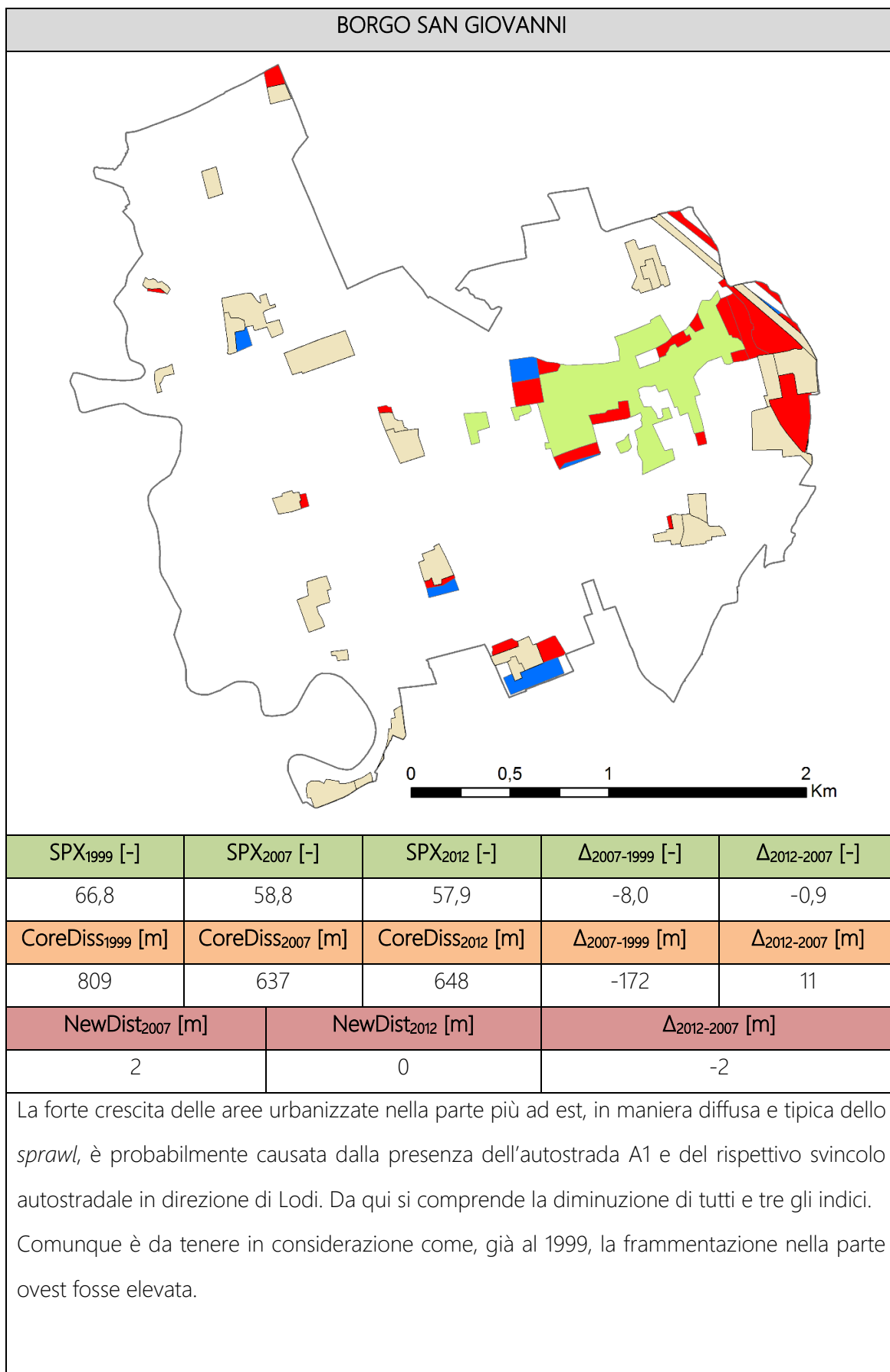
Nelle mappe sono rappresentati: in verde chiaro il nucleo comunale (dissolto) al 1999, in grigio le rimanenti classi 11 e 12 del DUSAF 1.0, in rosso le aree insediate al 2007, in blu quelle al 2012.

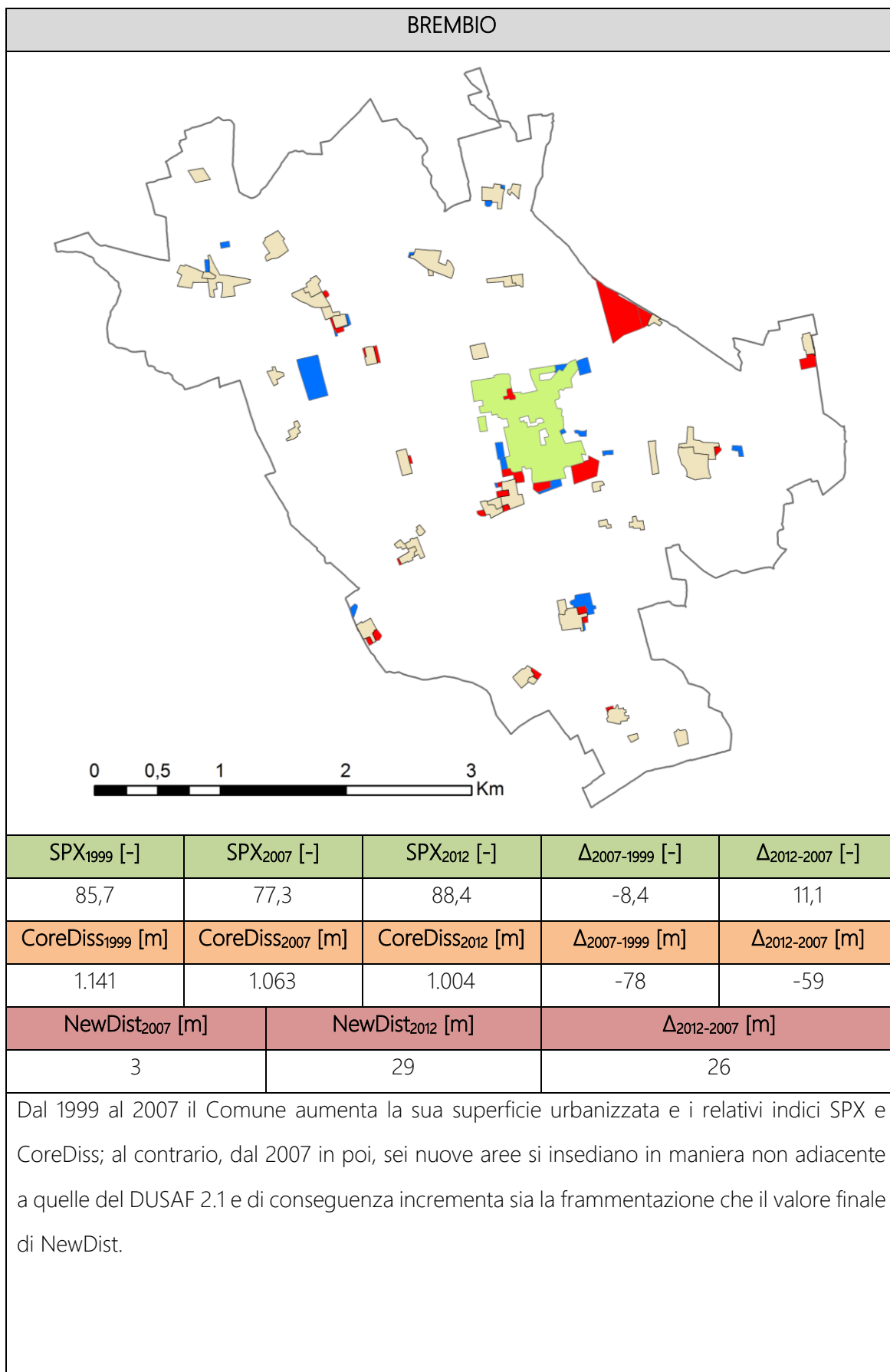


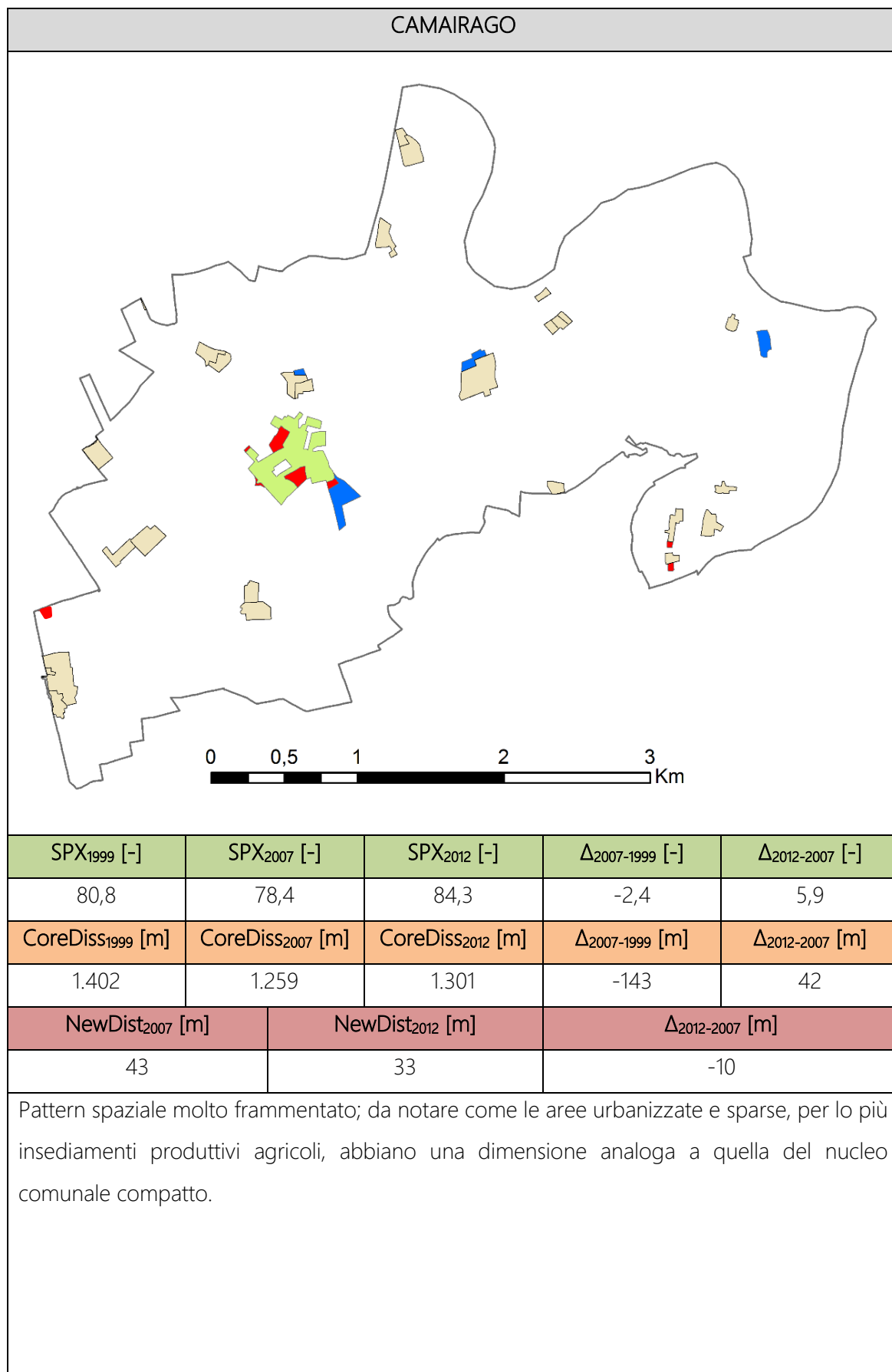


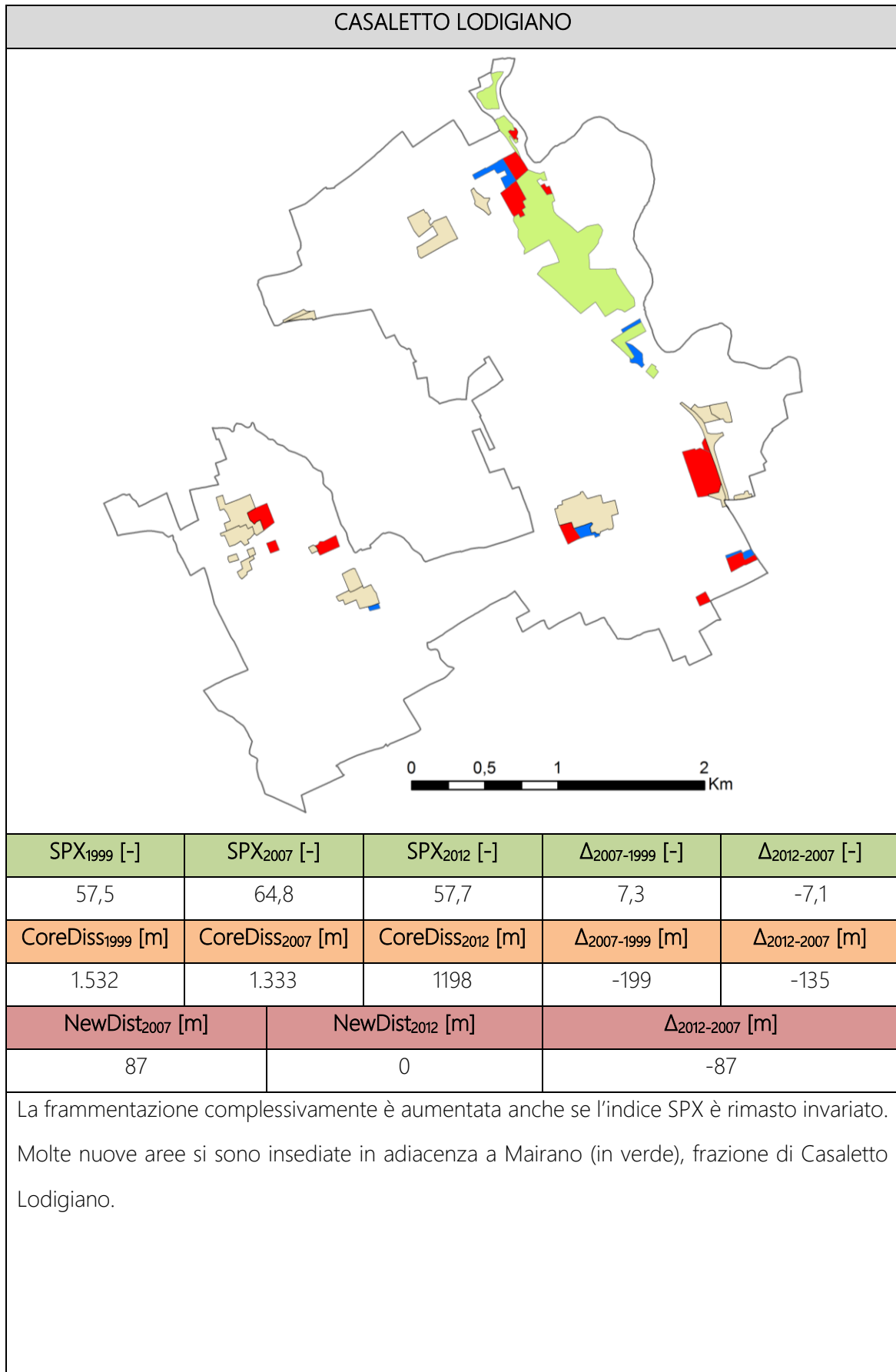


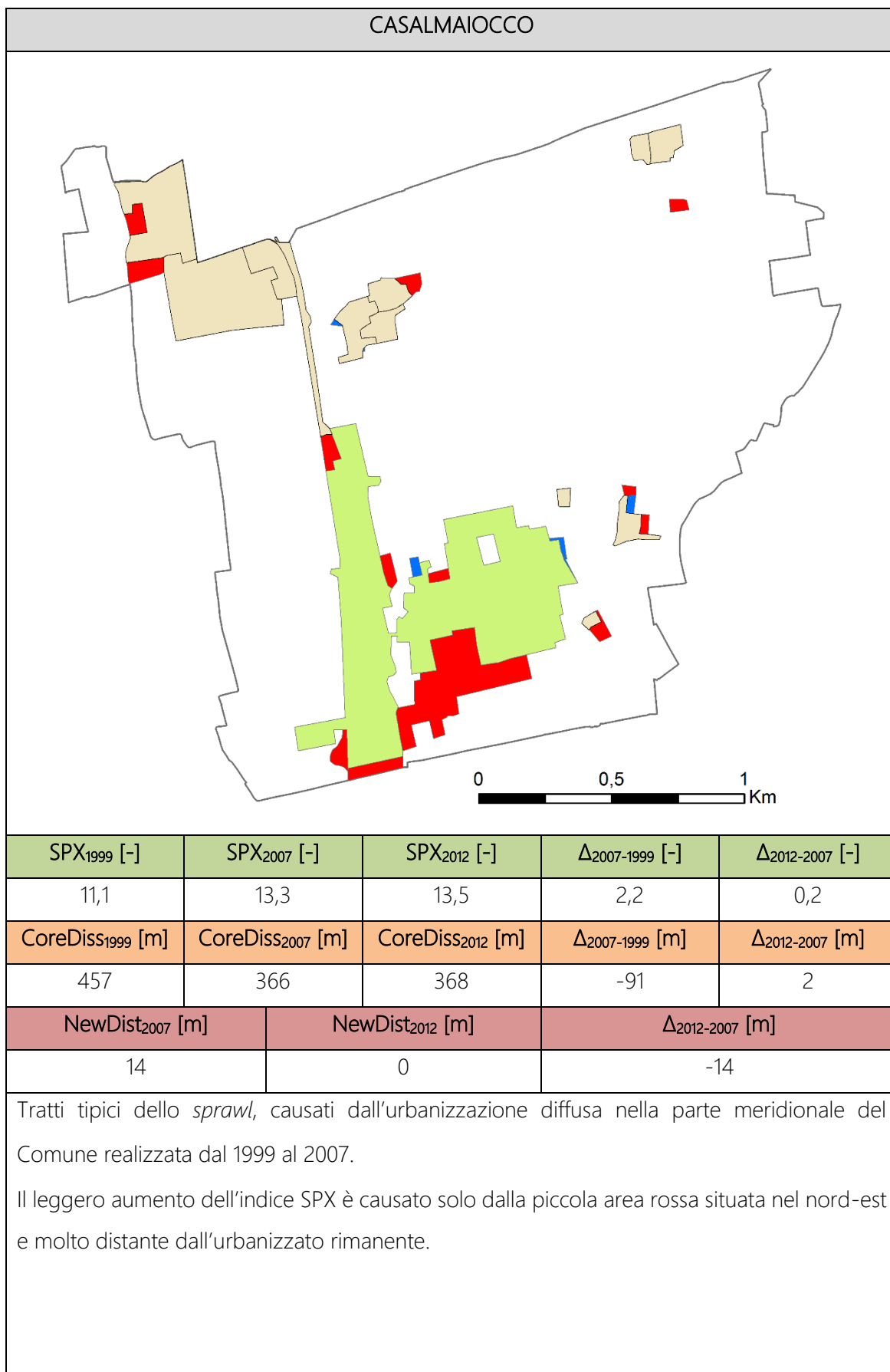


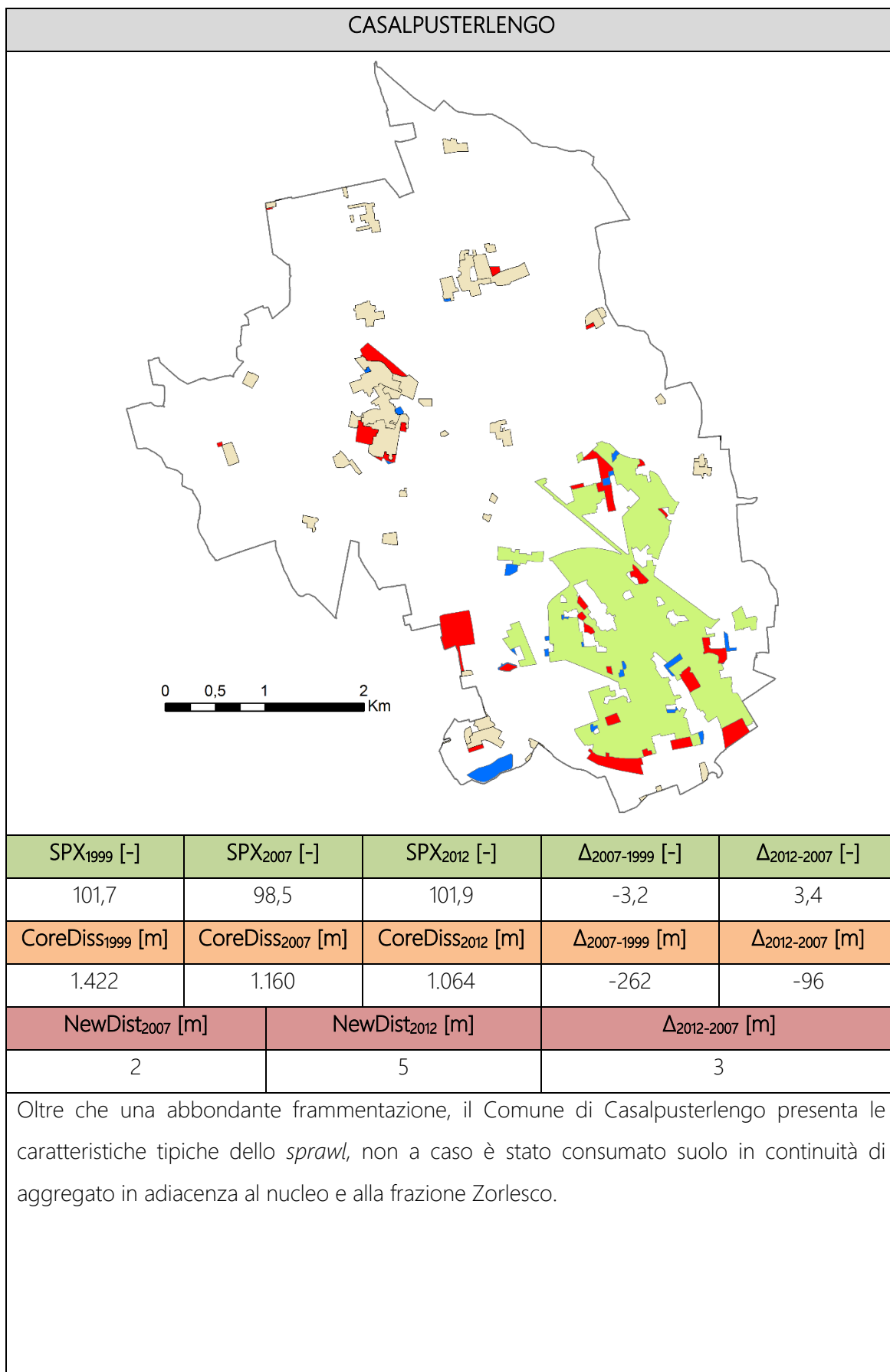


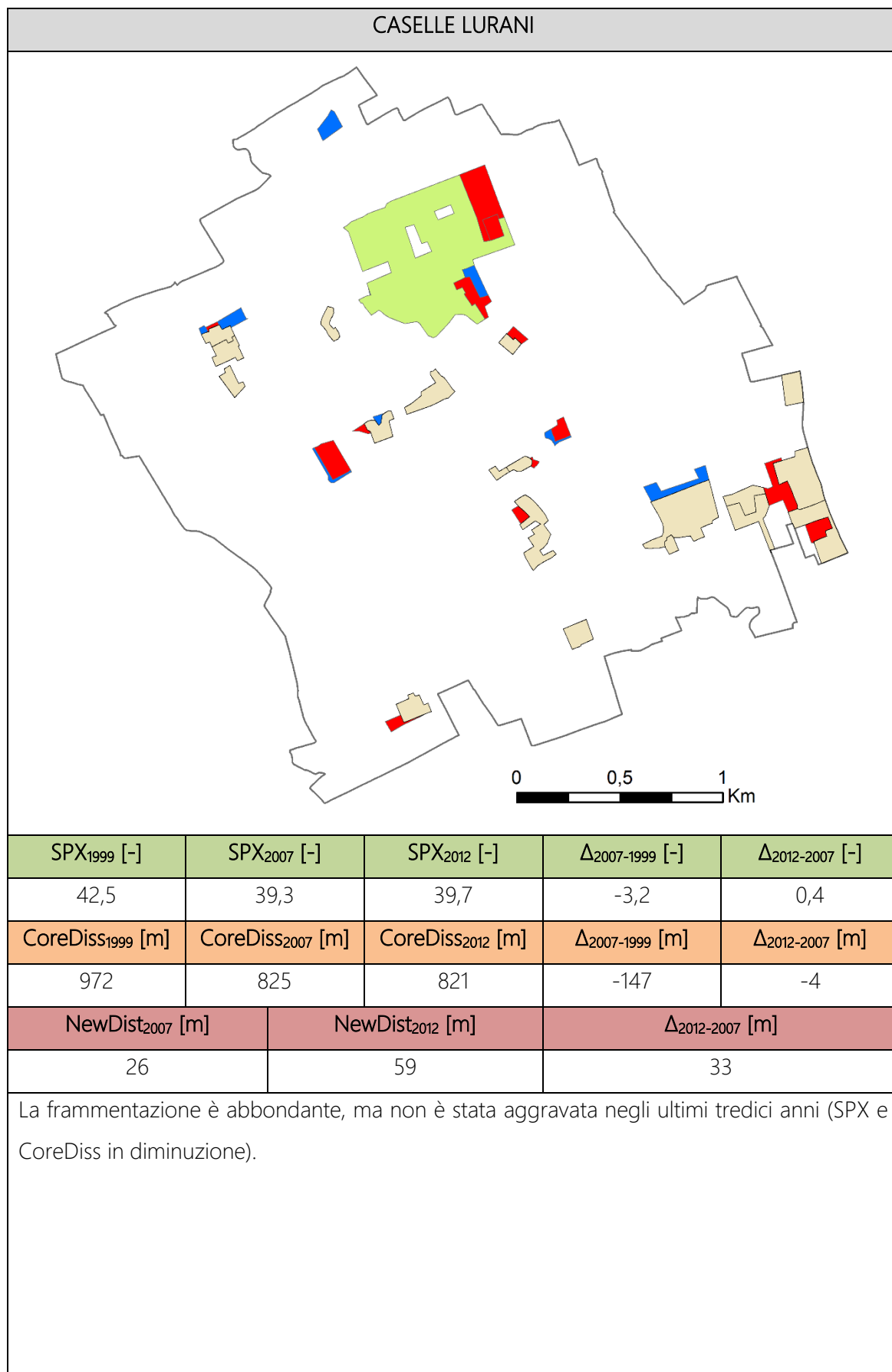


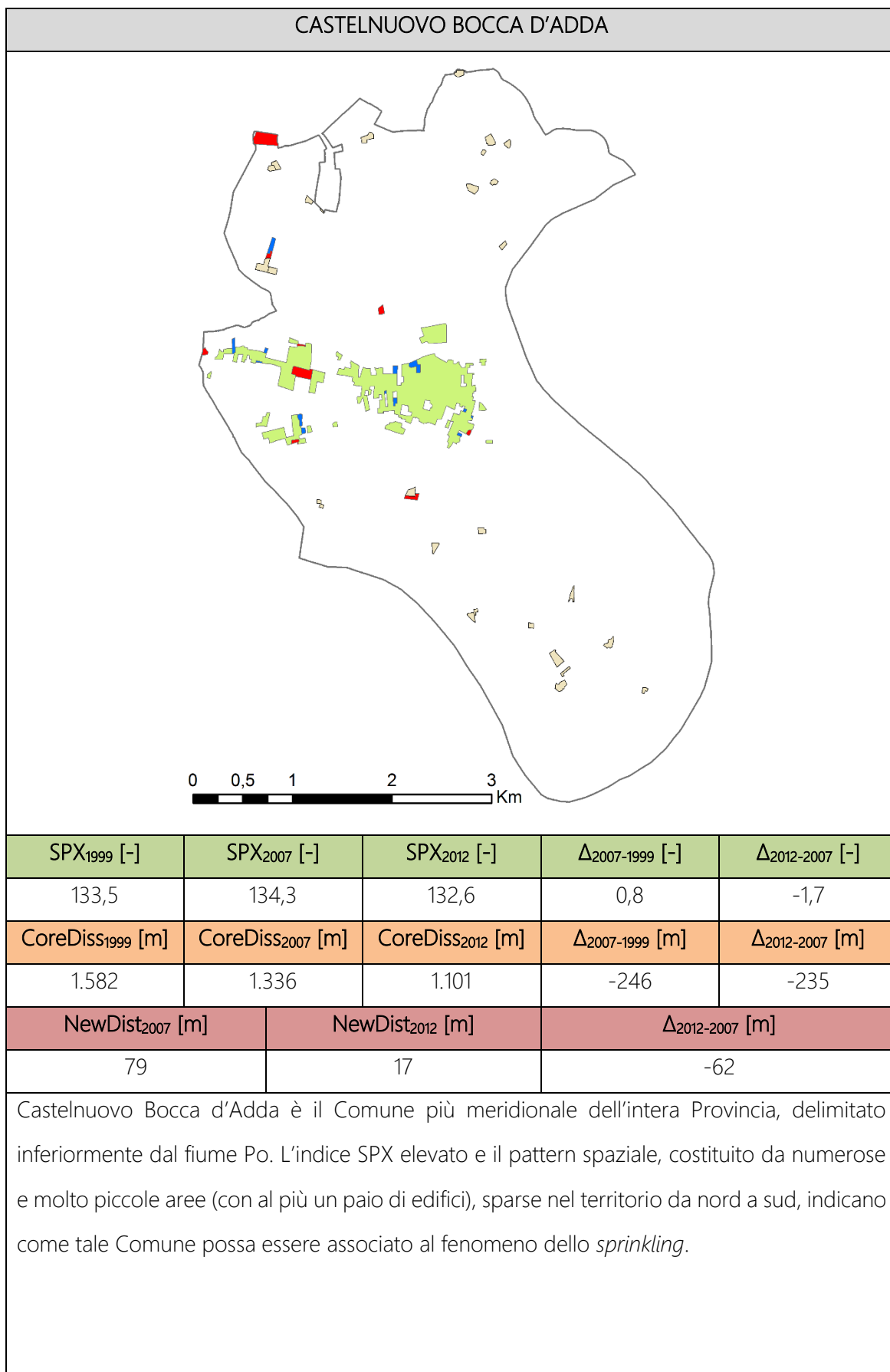


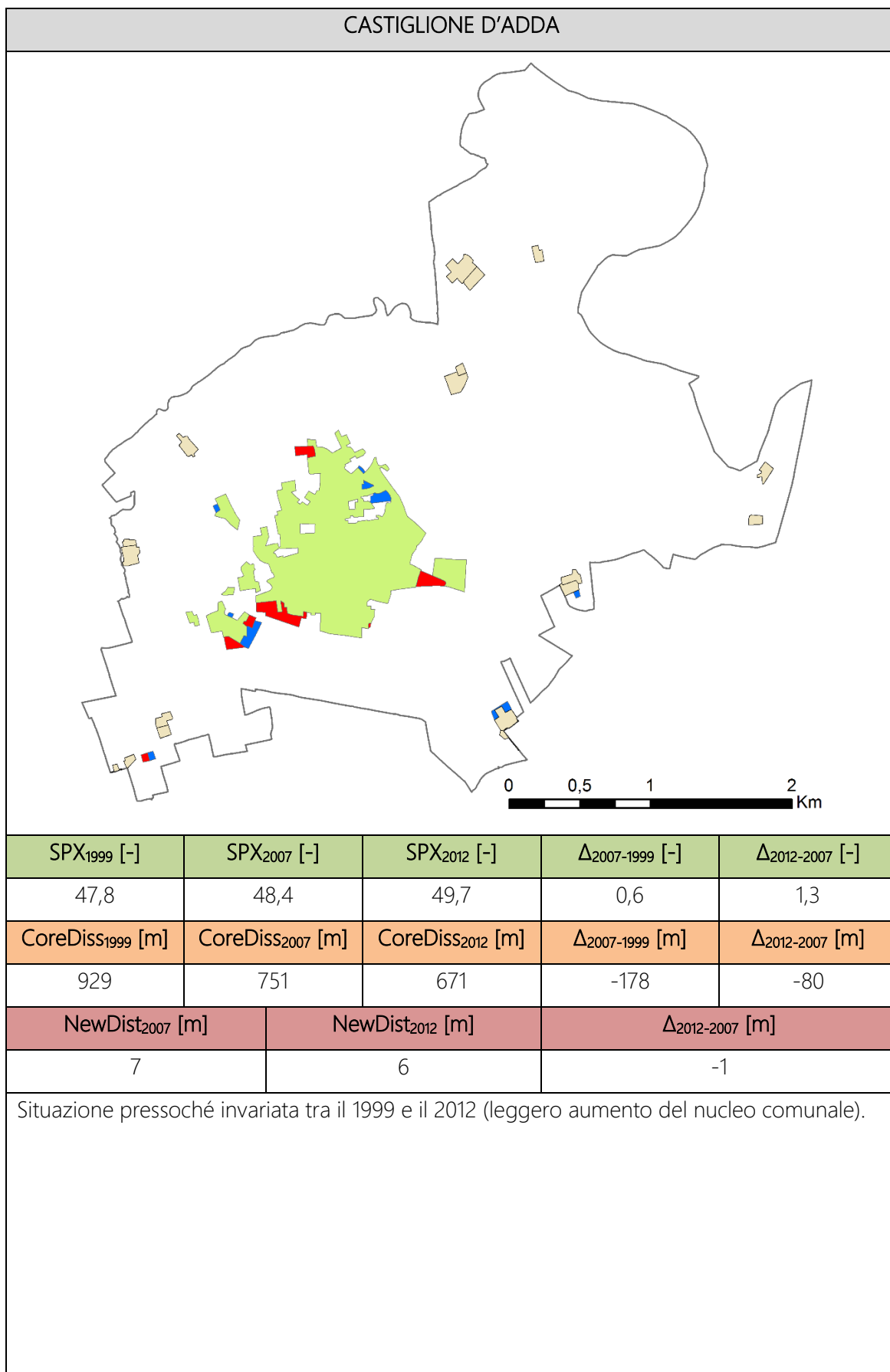


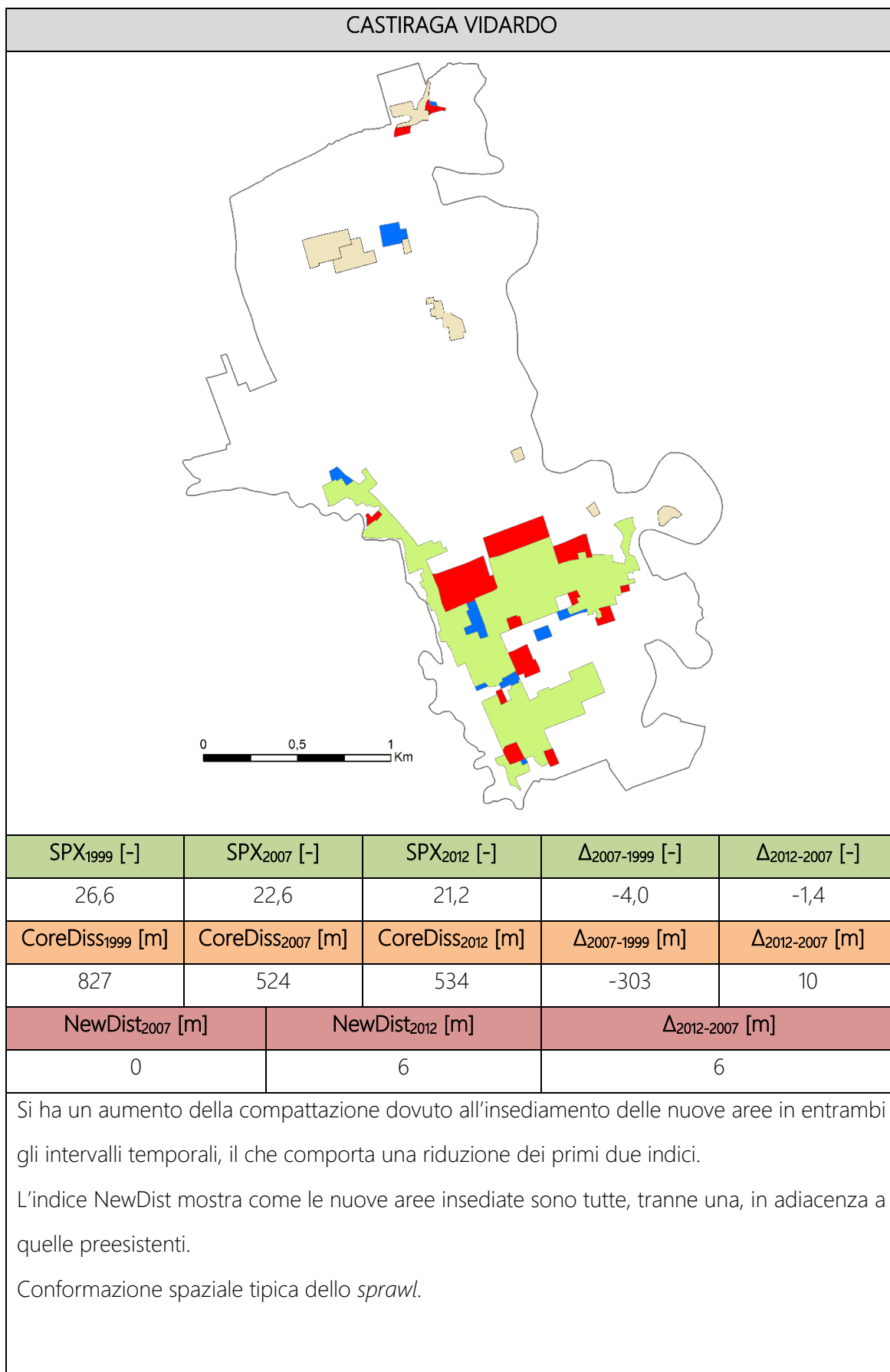


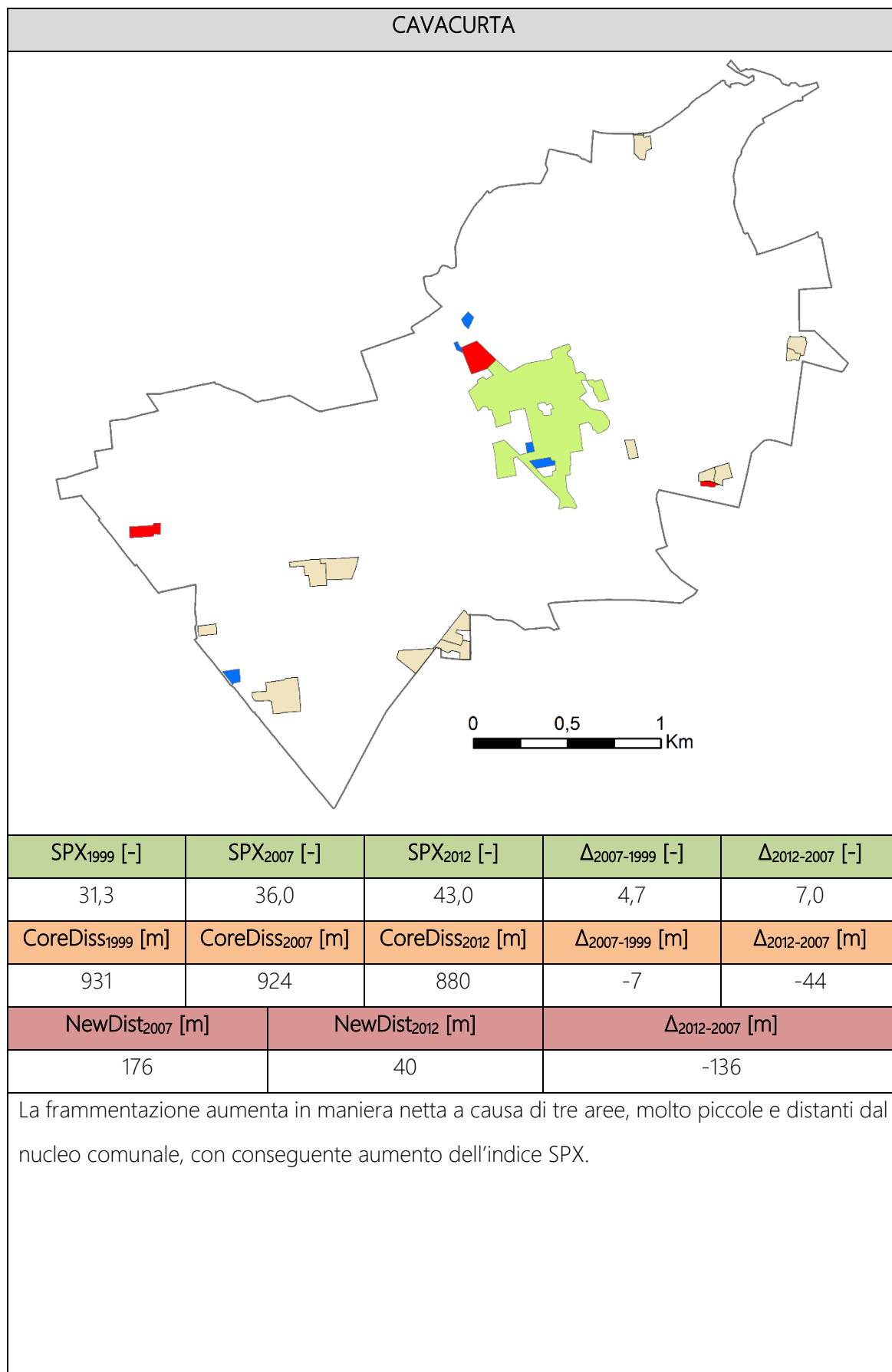


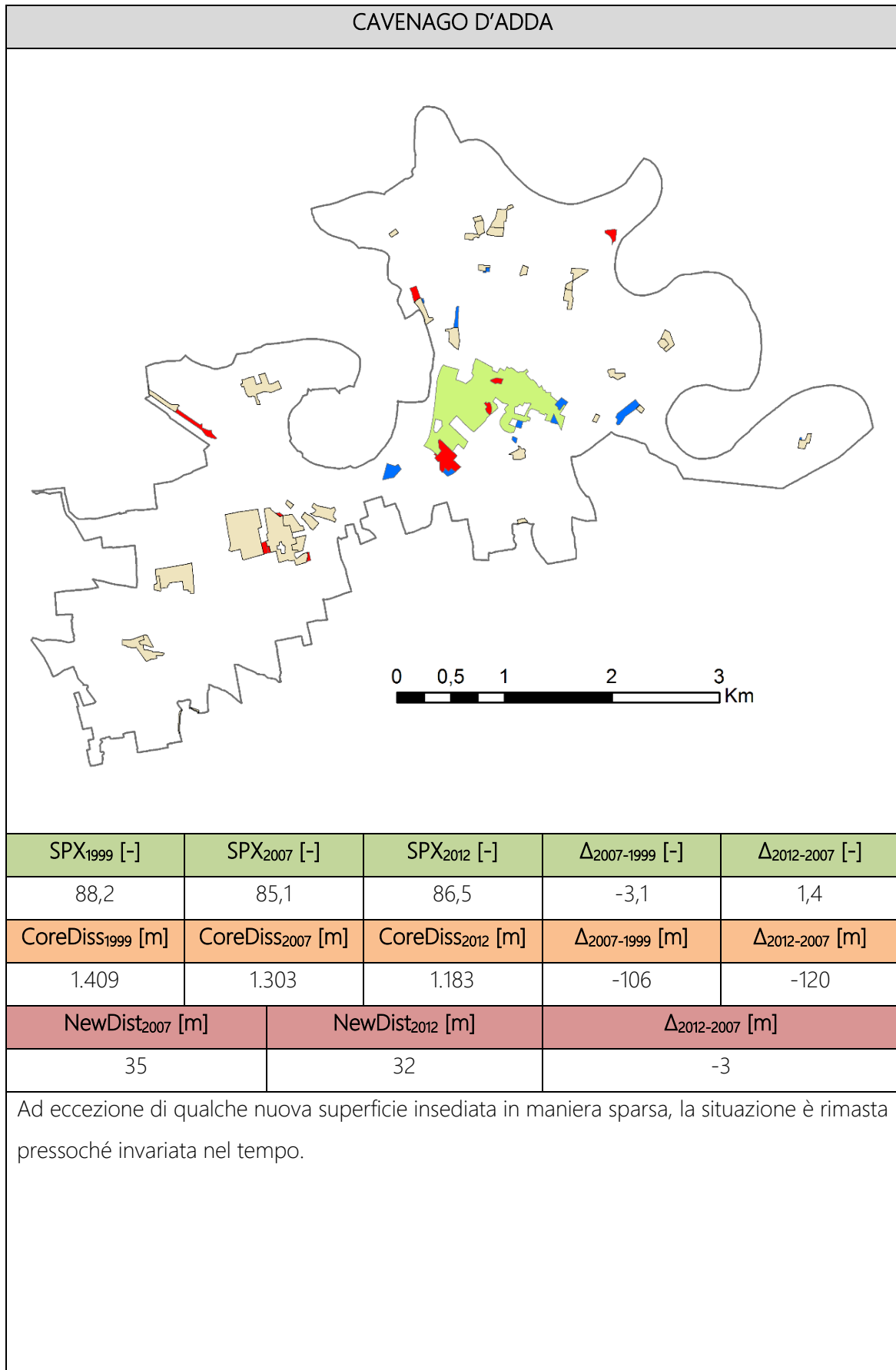


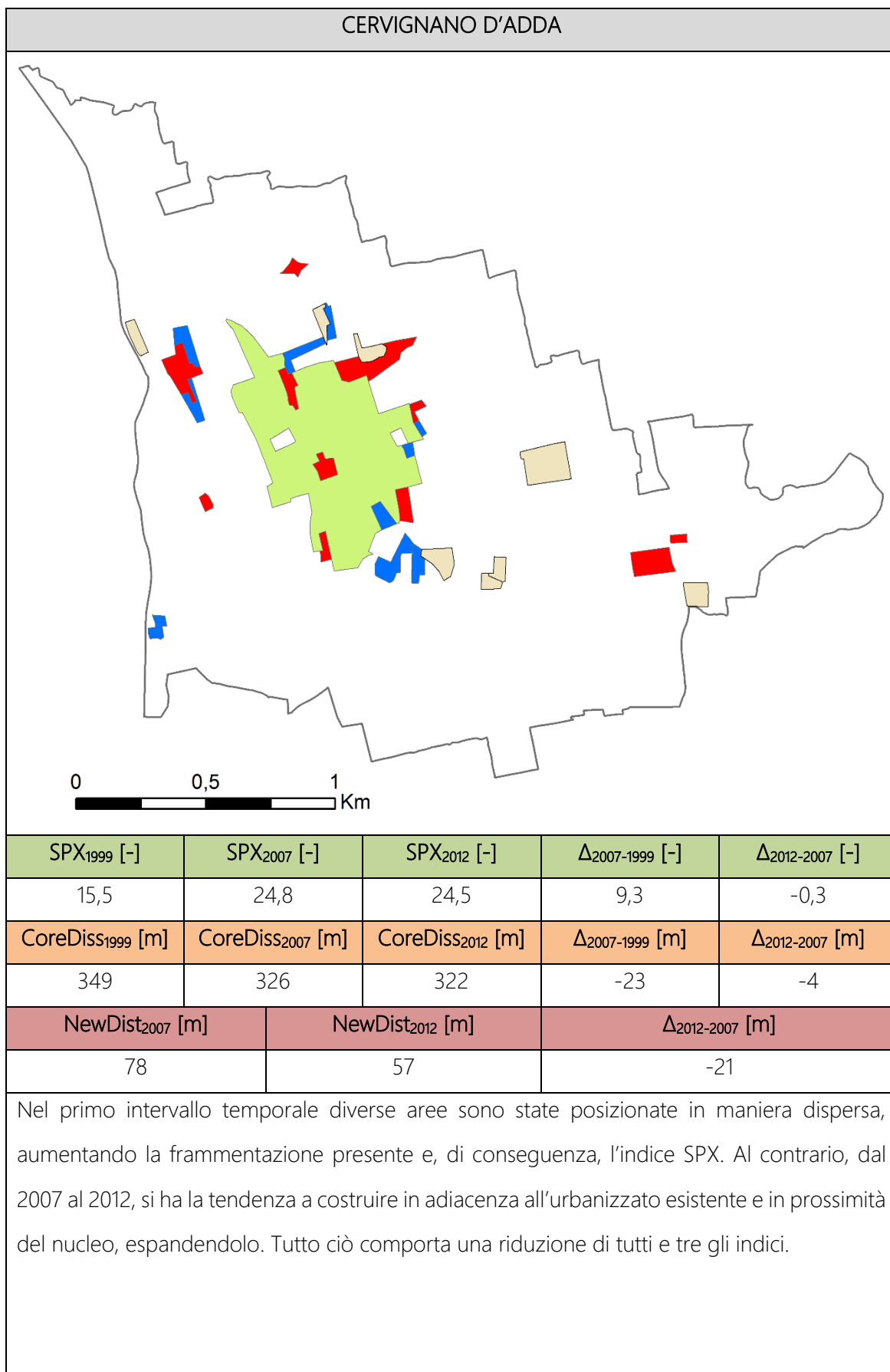


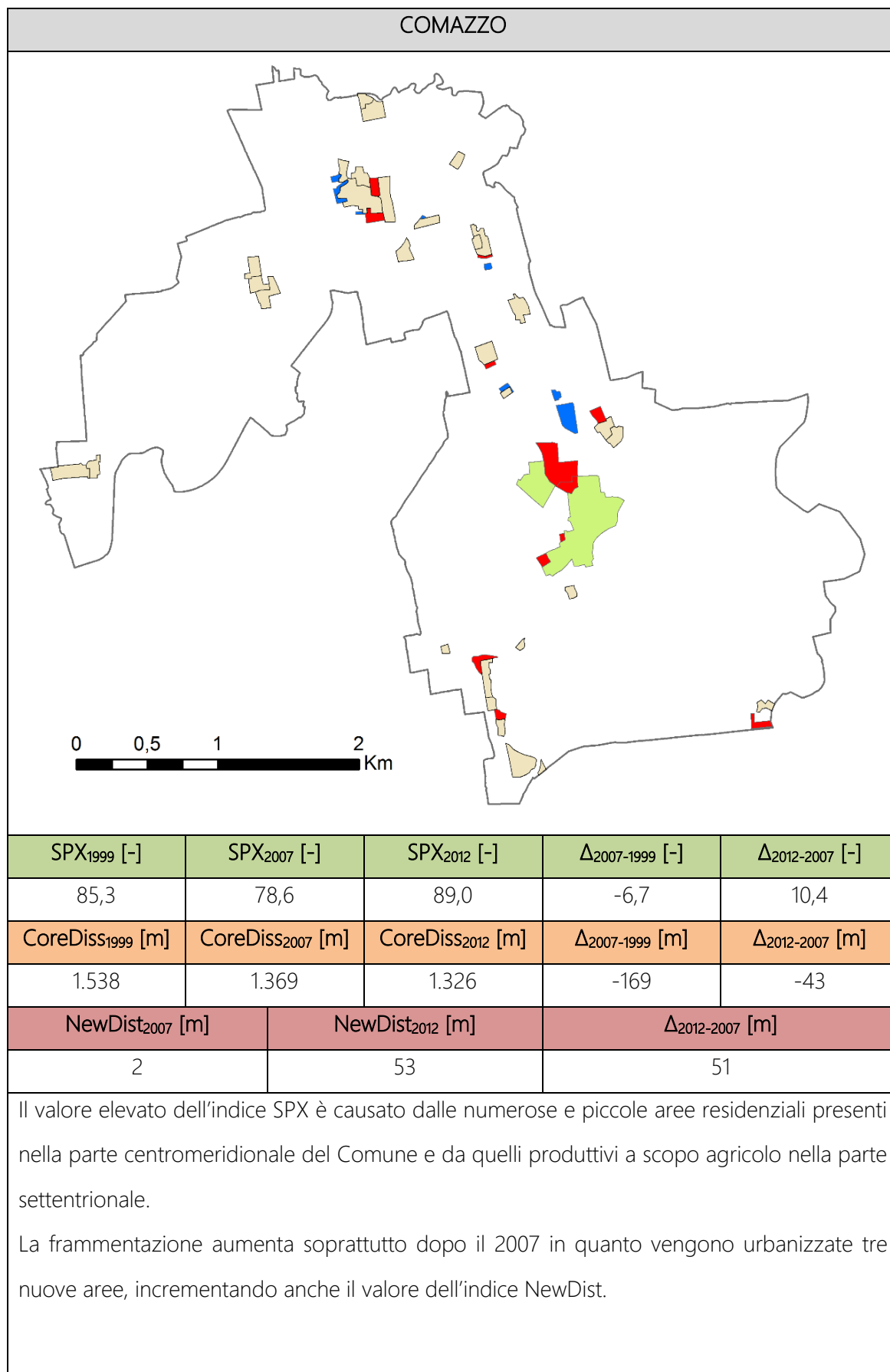


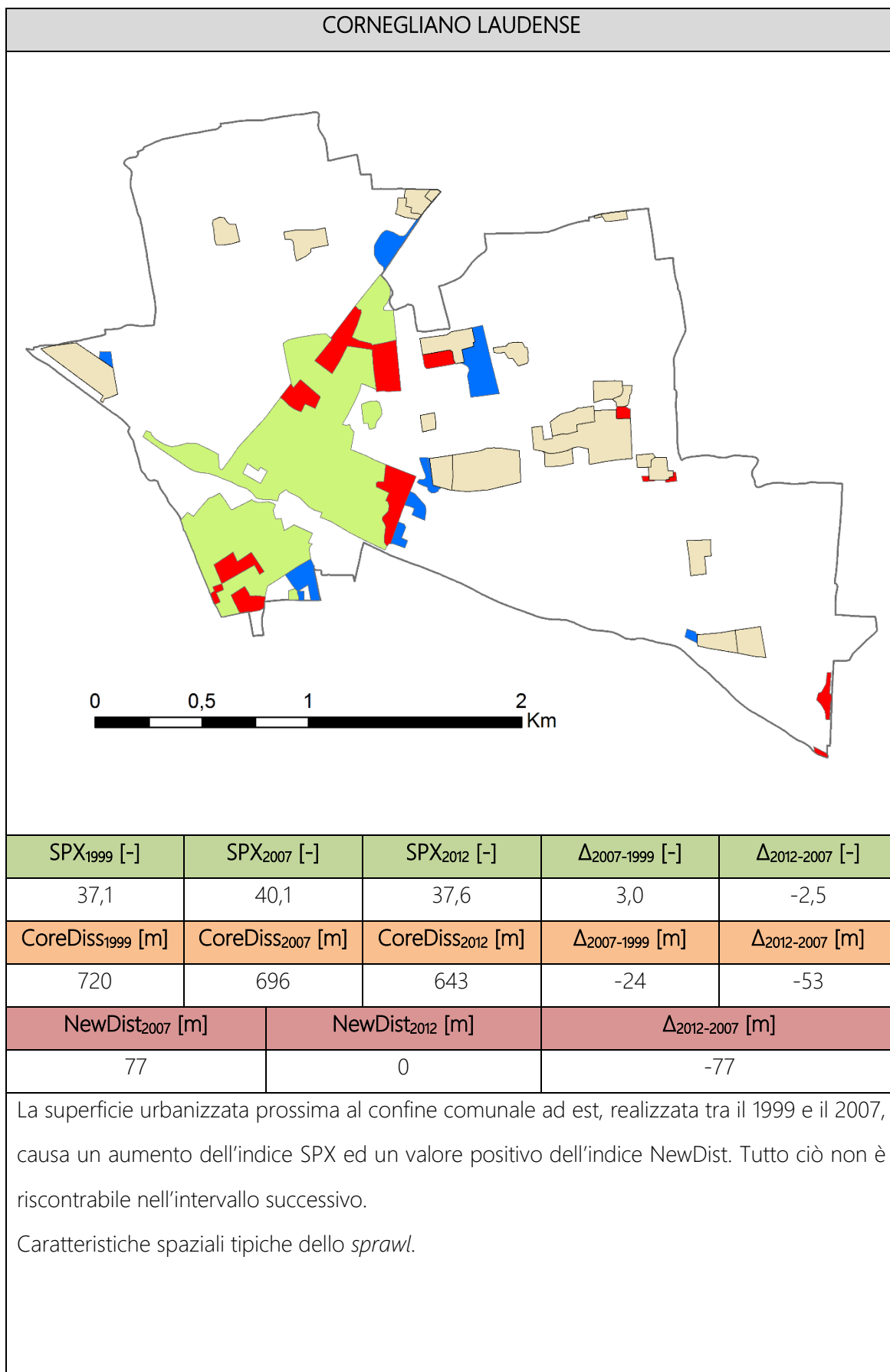


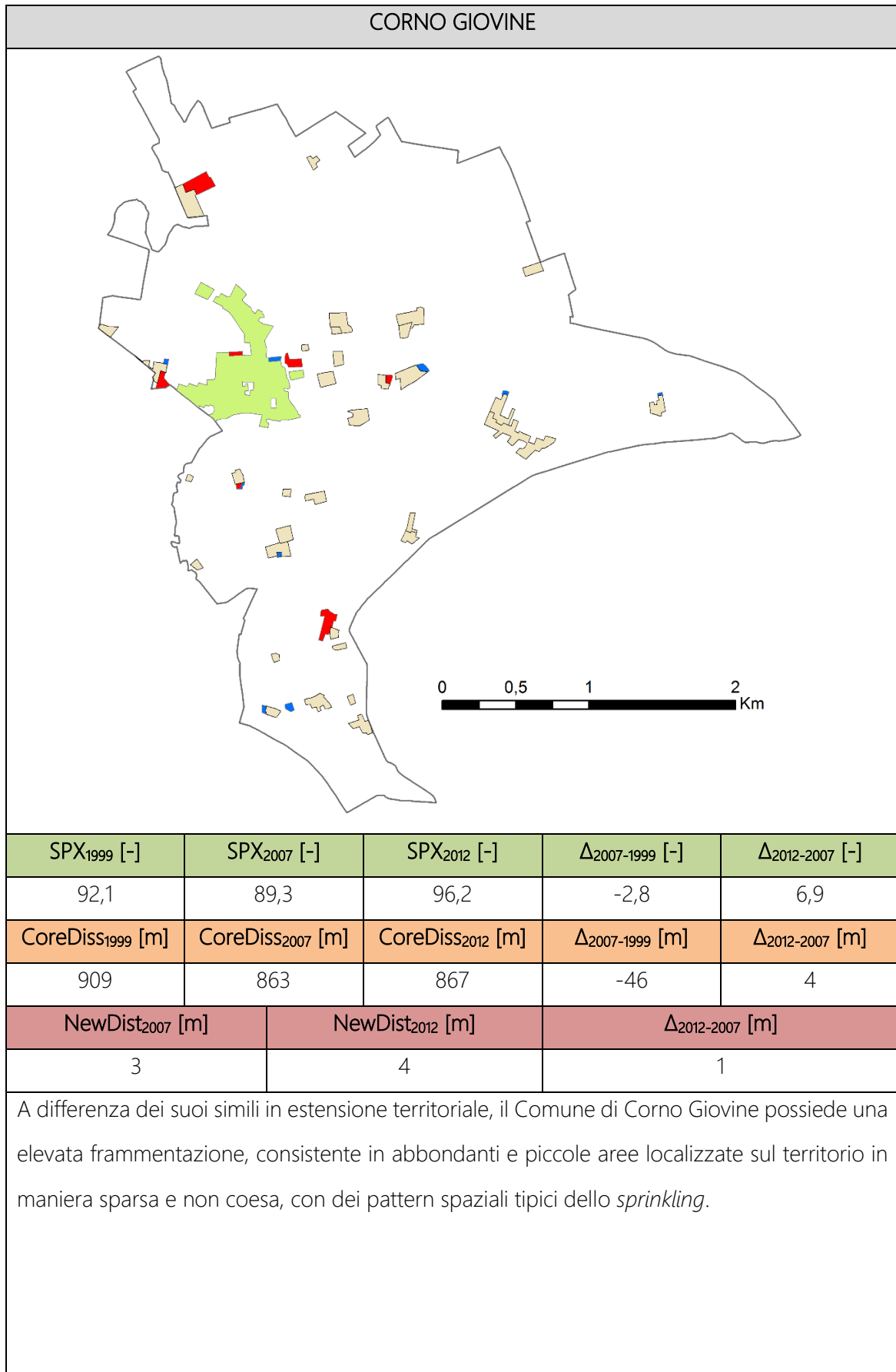


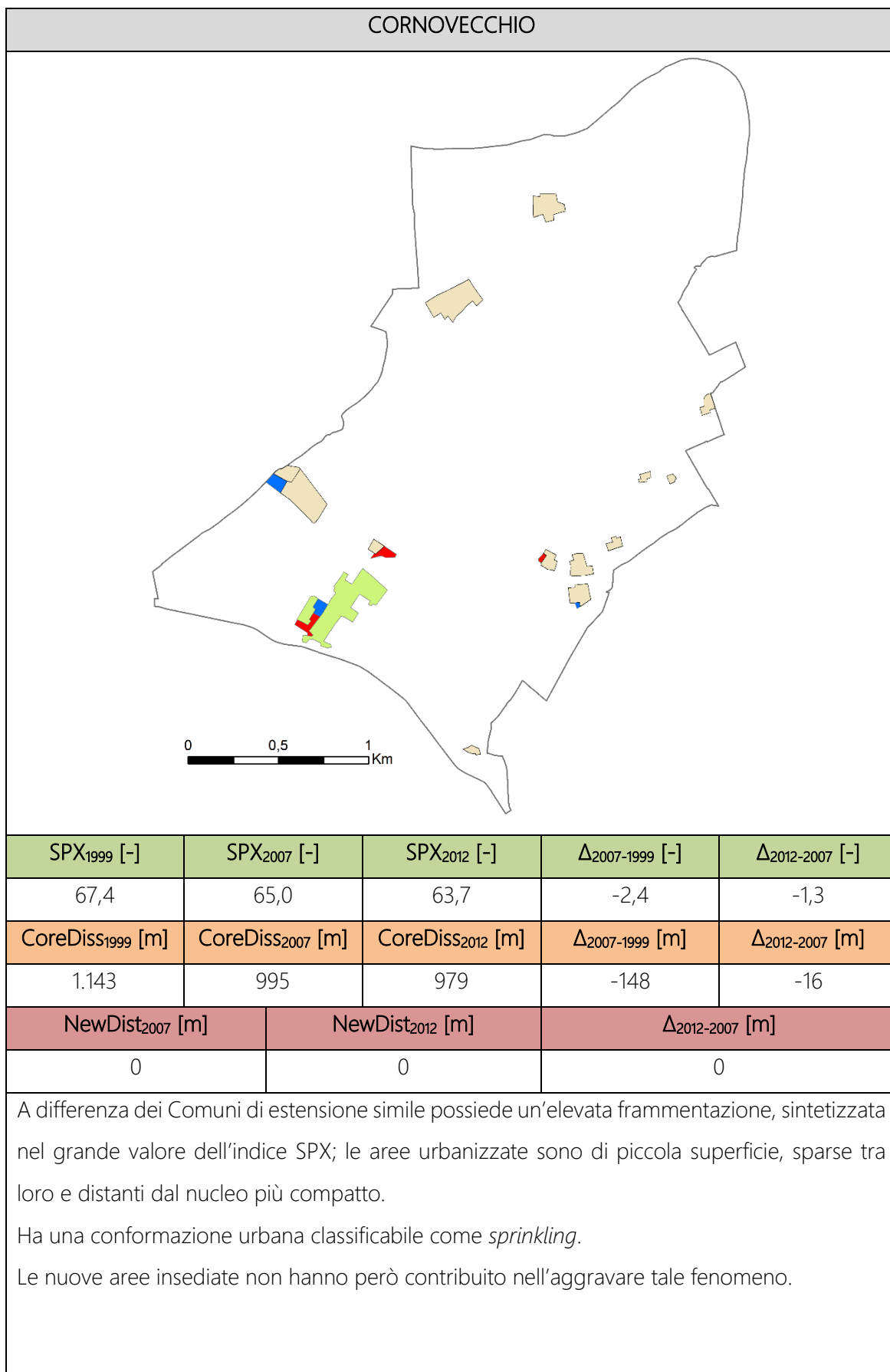


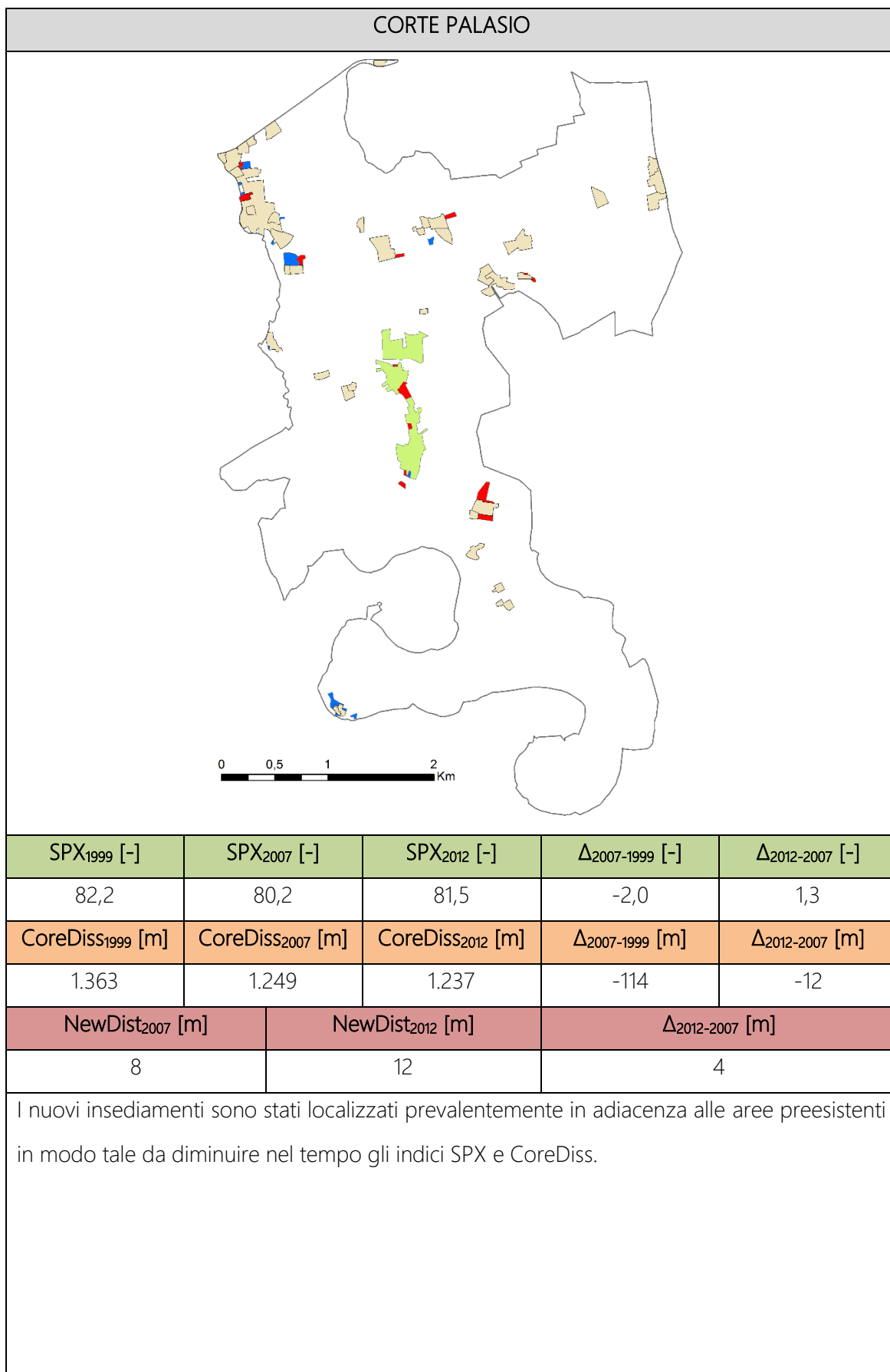


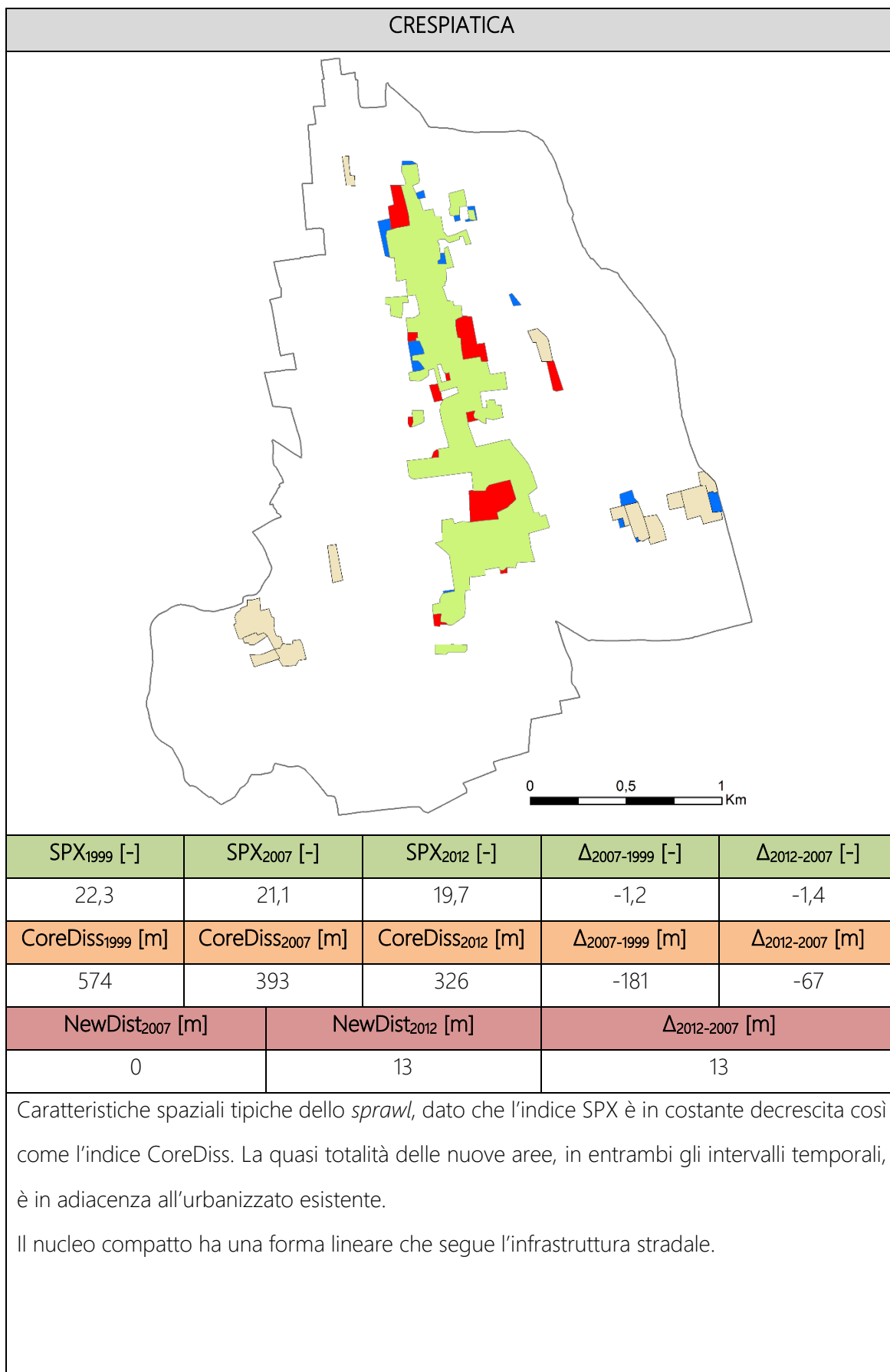


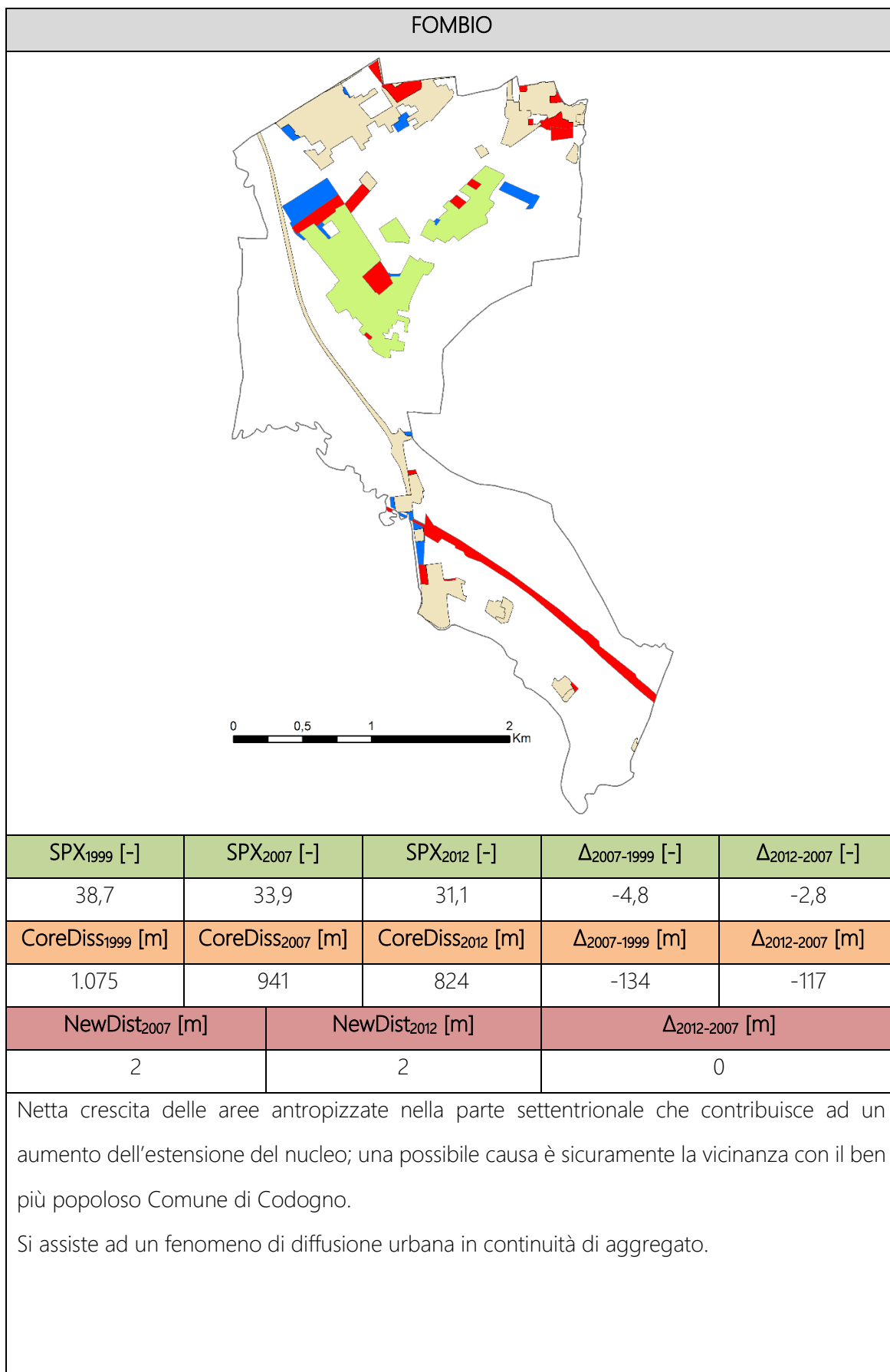


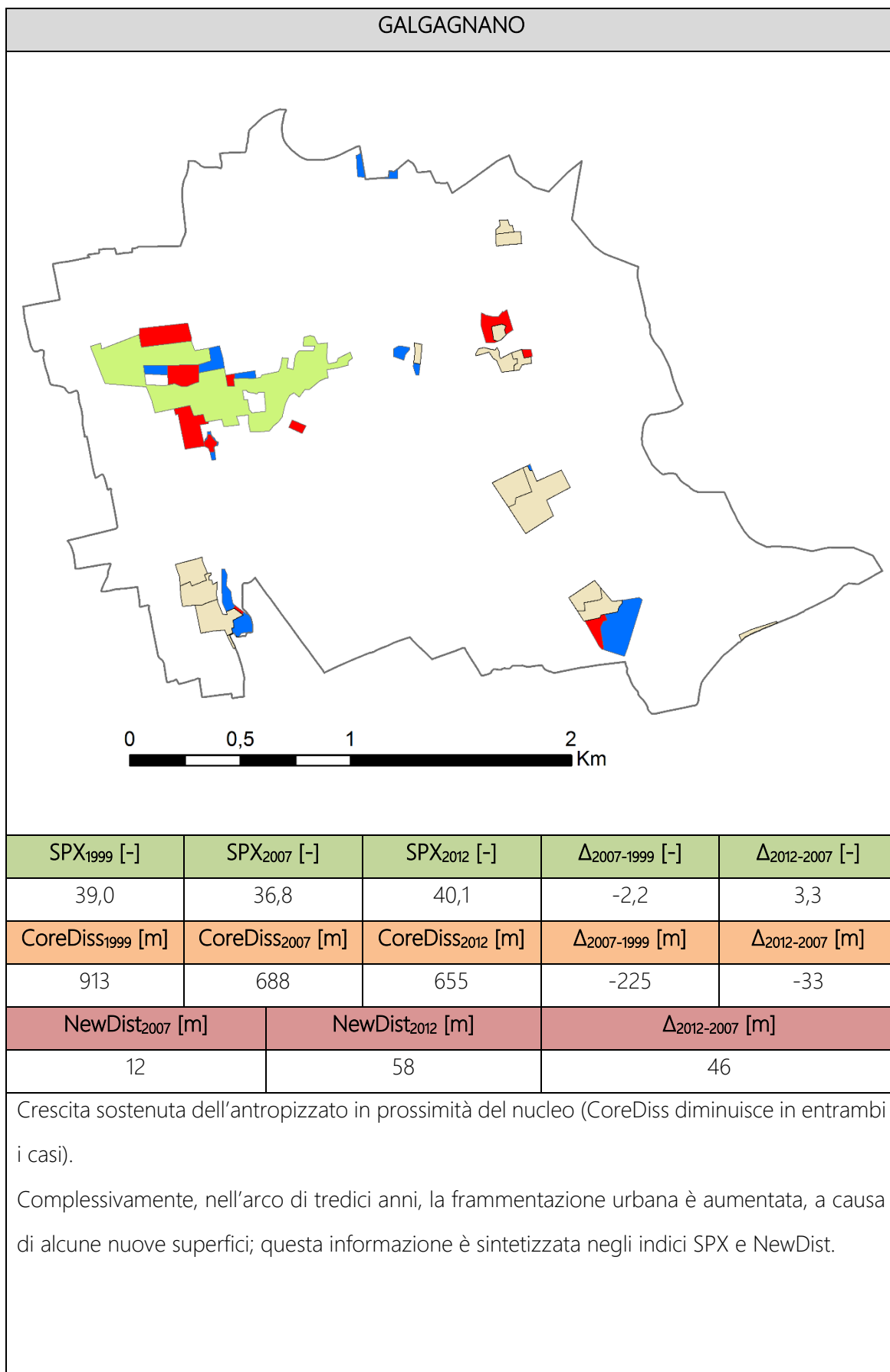


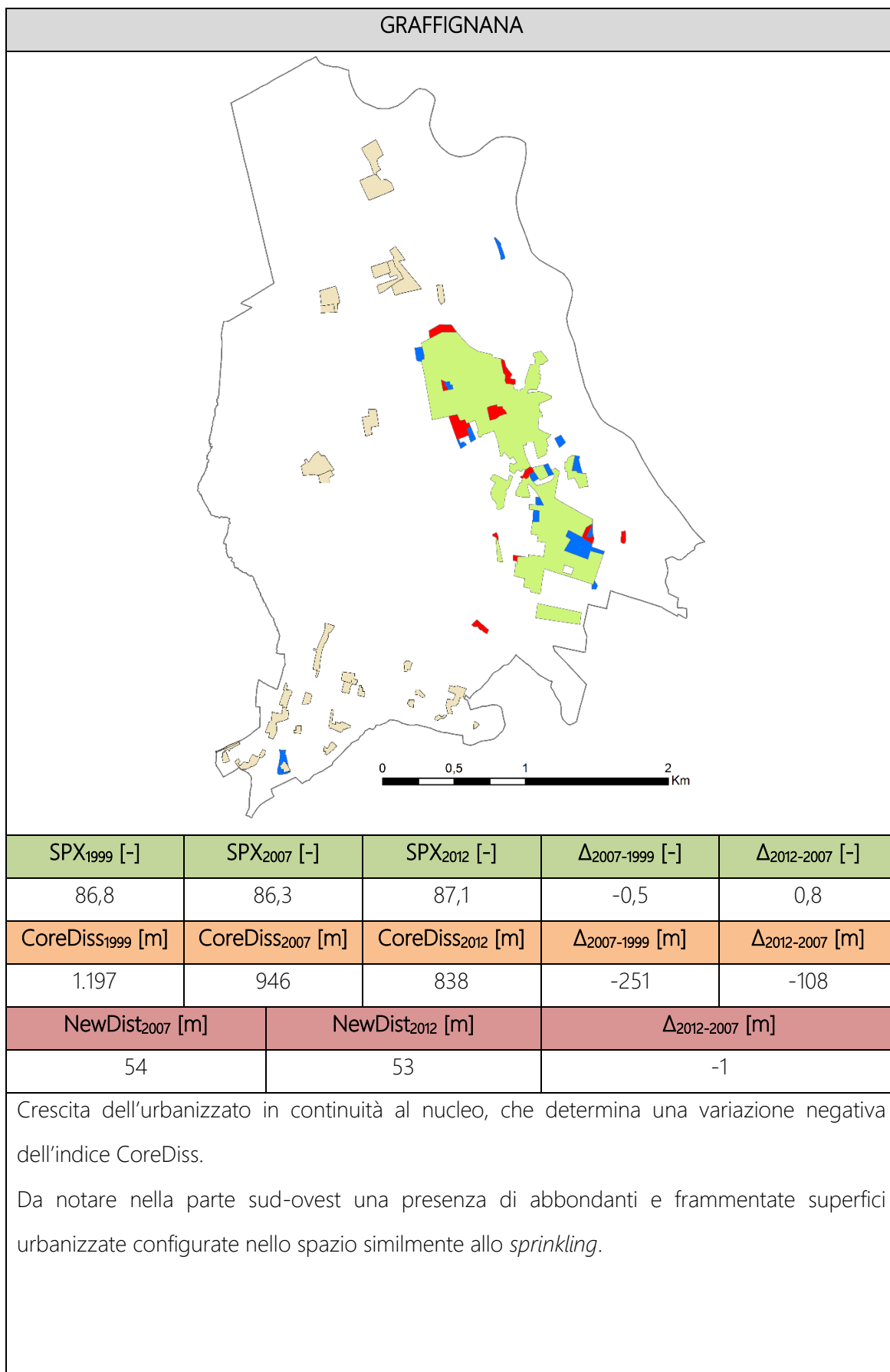


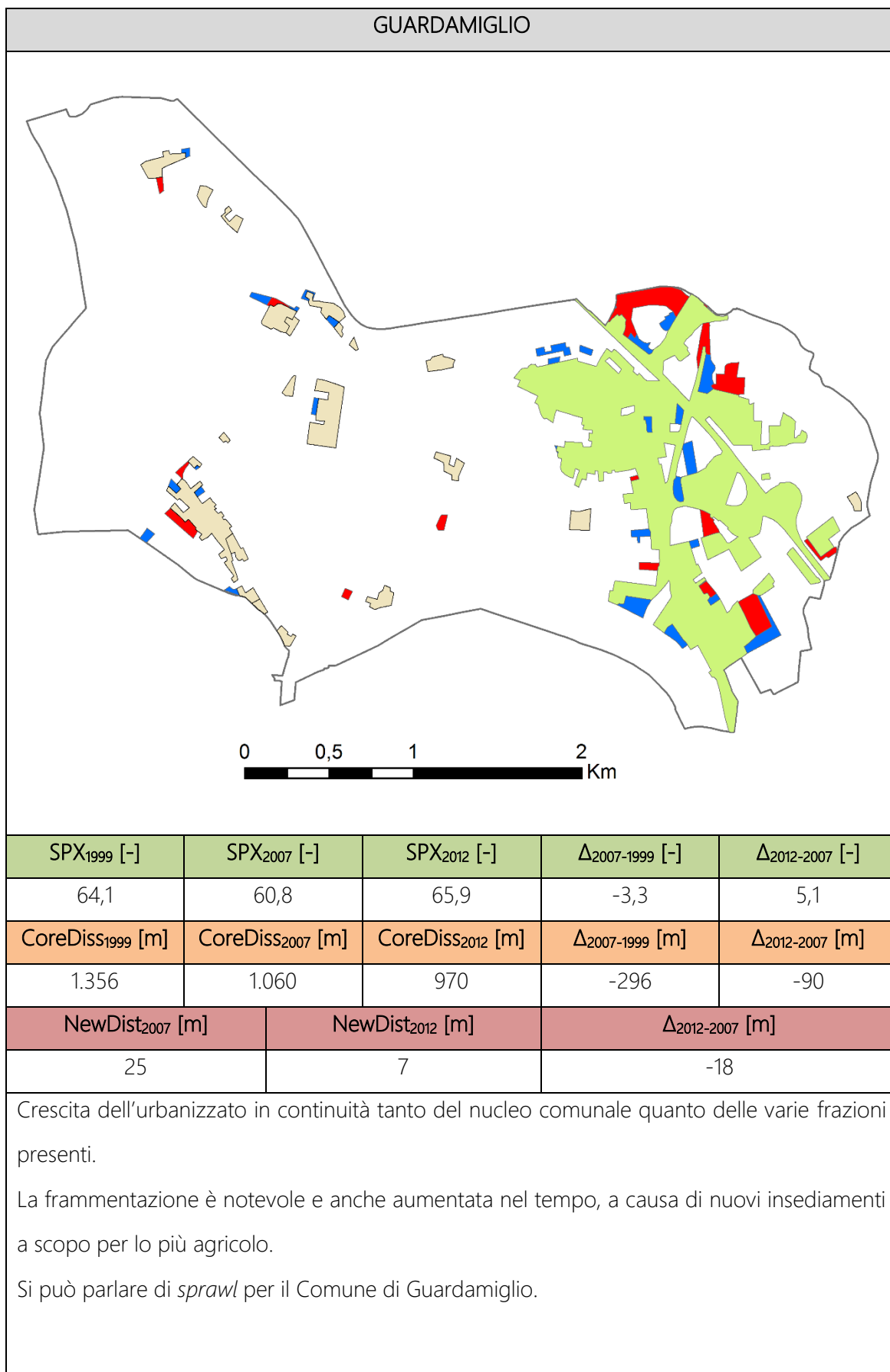


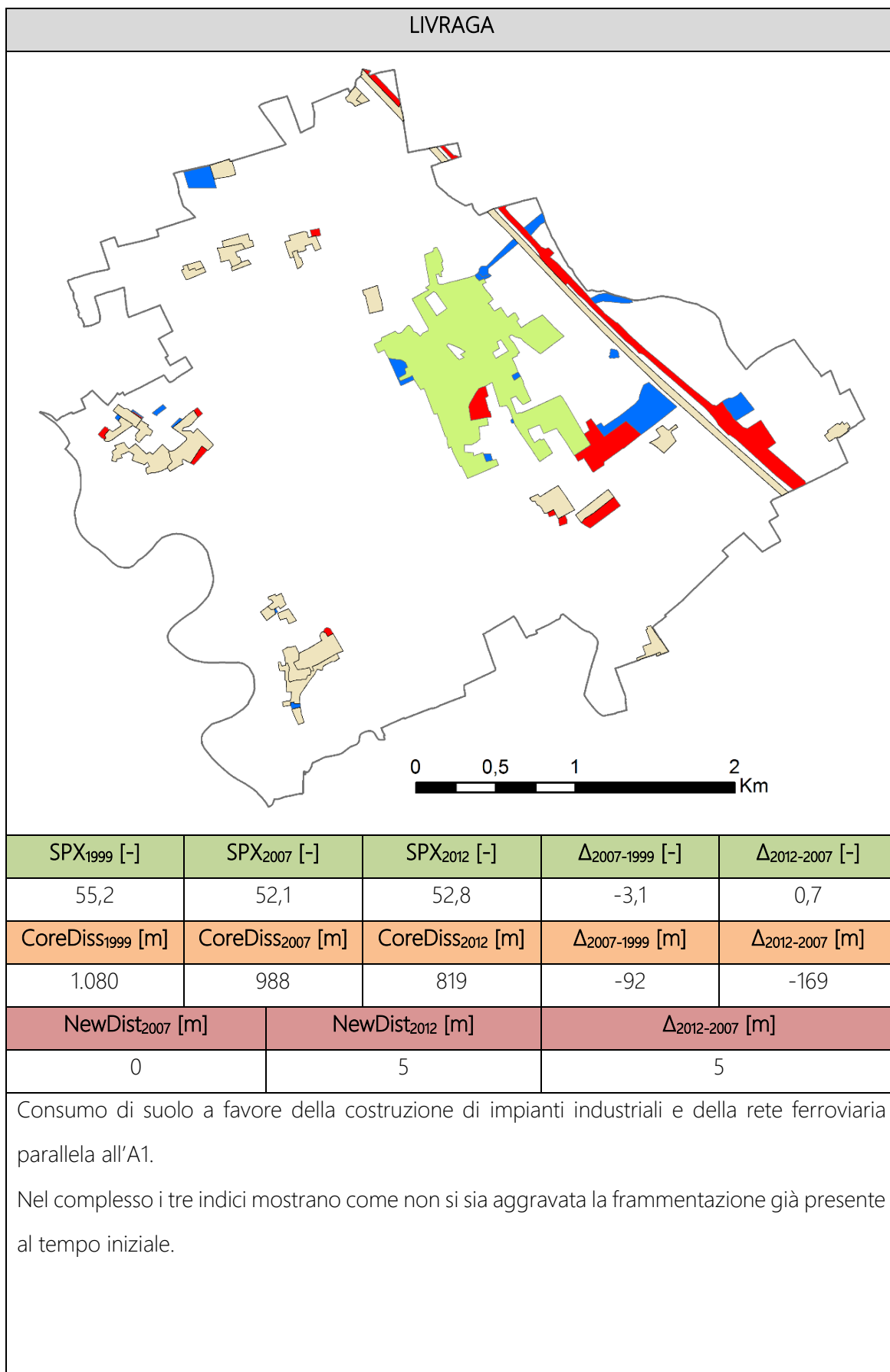


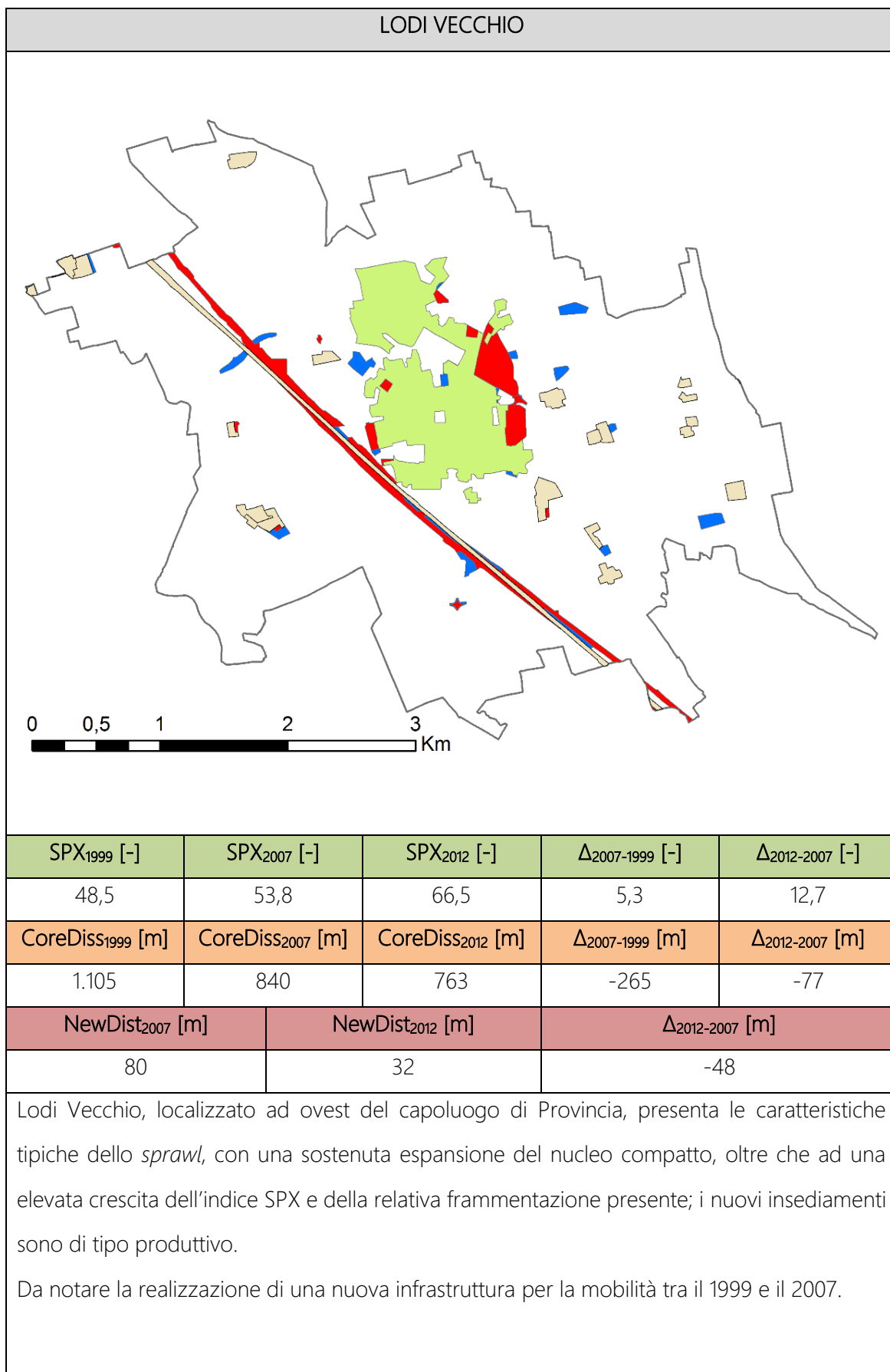


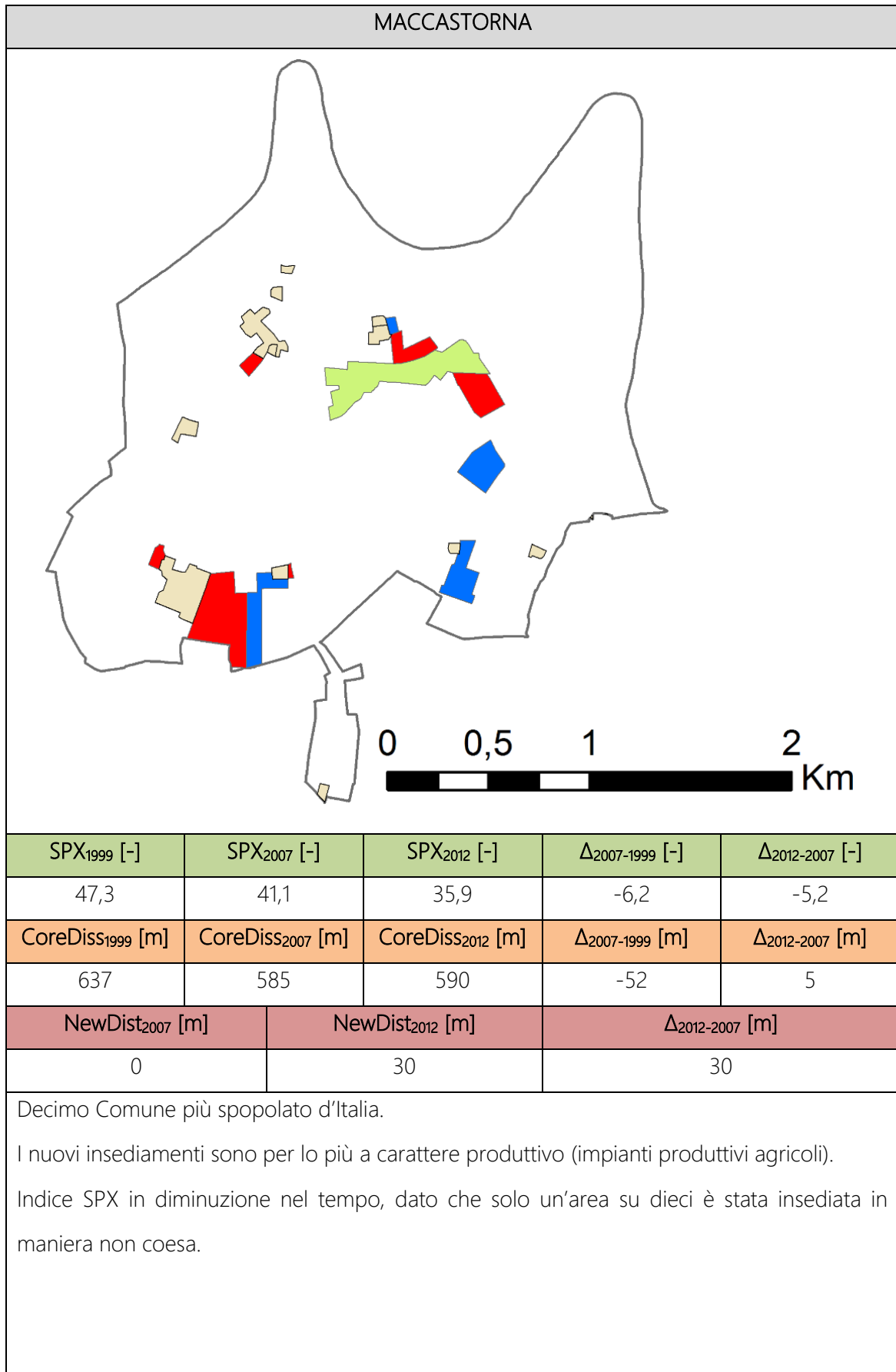


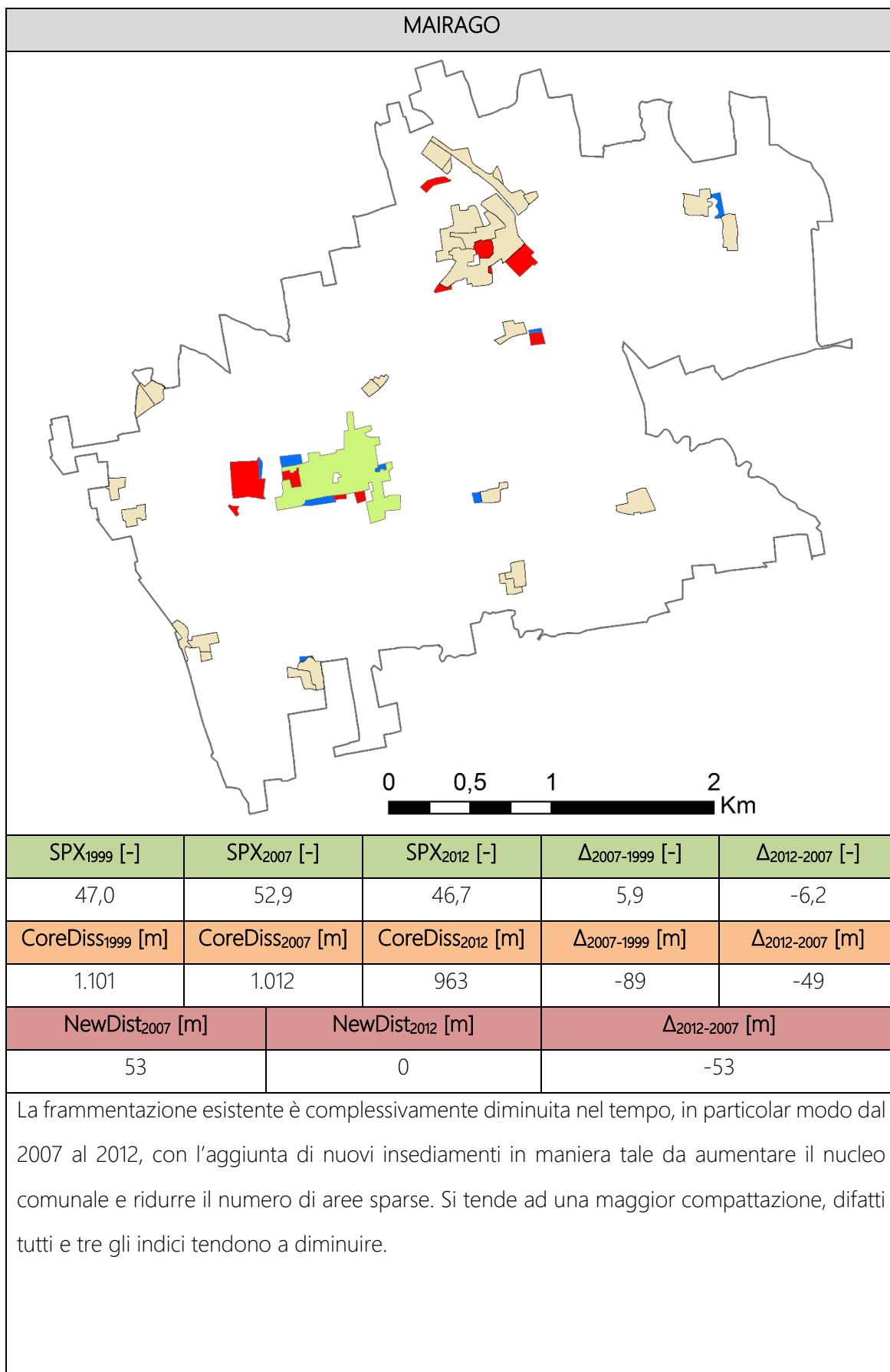


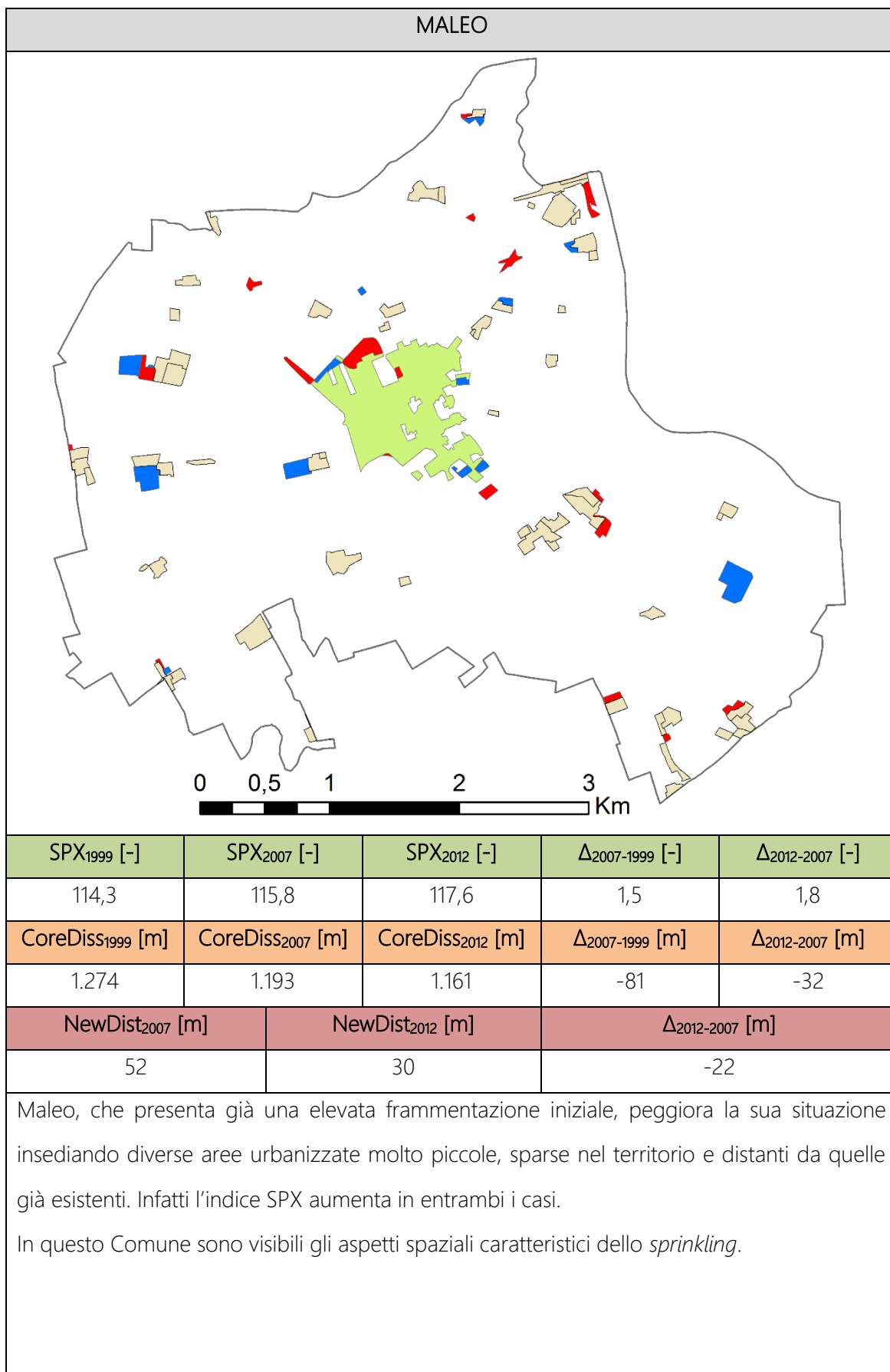


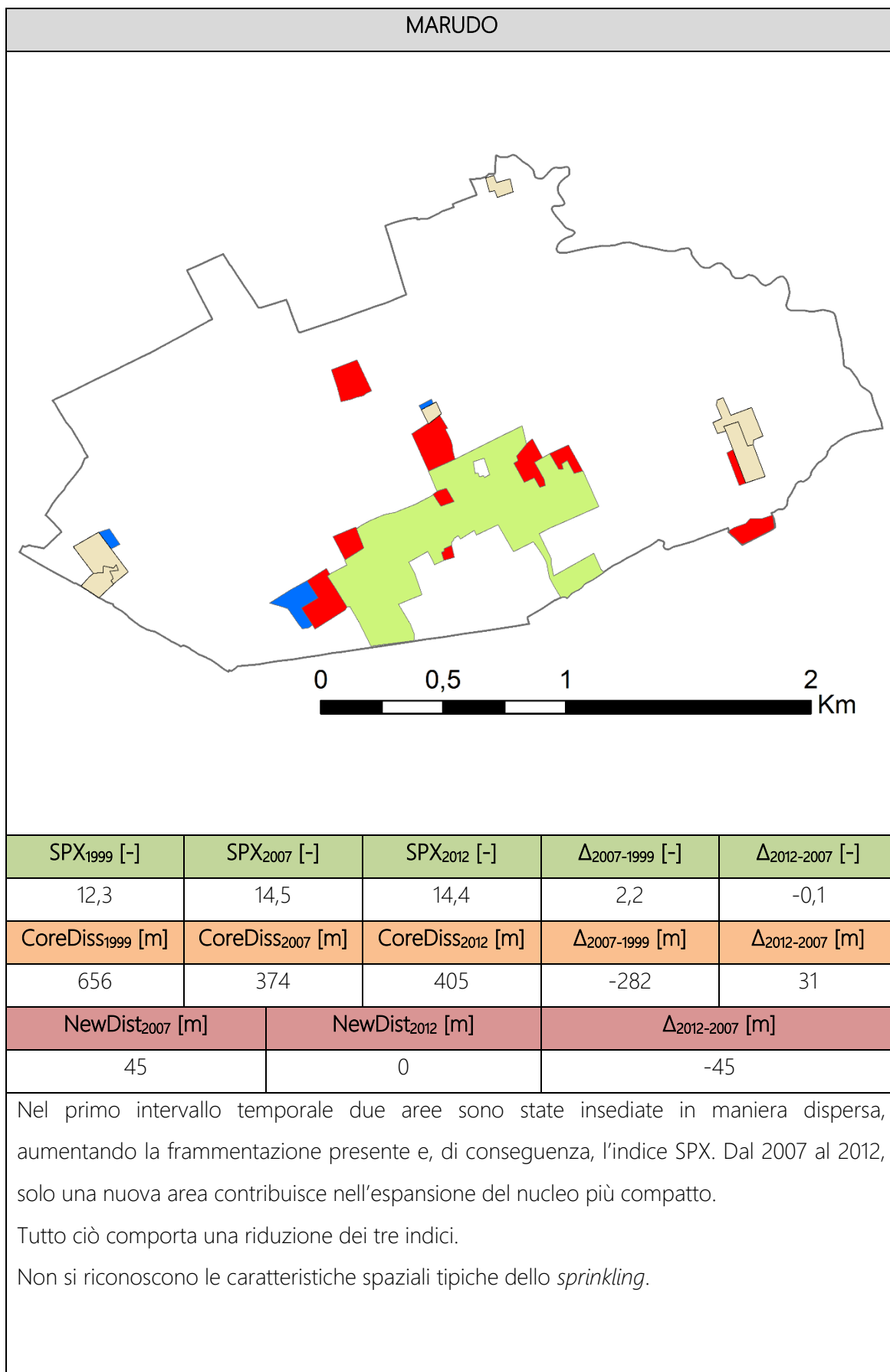


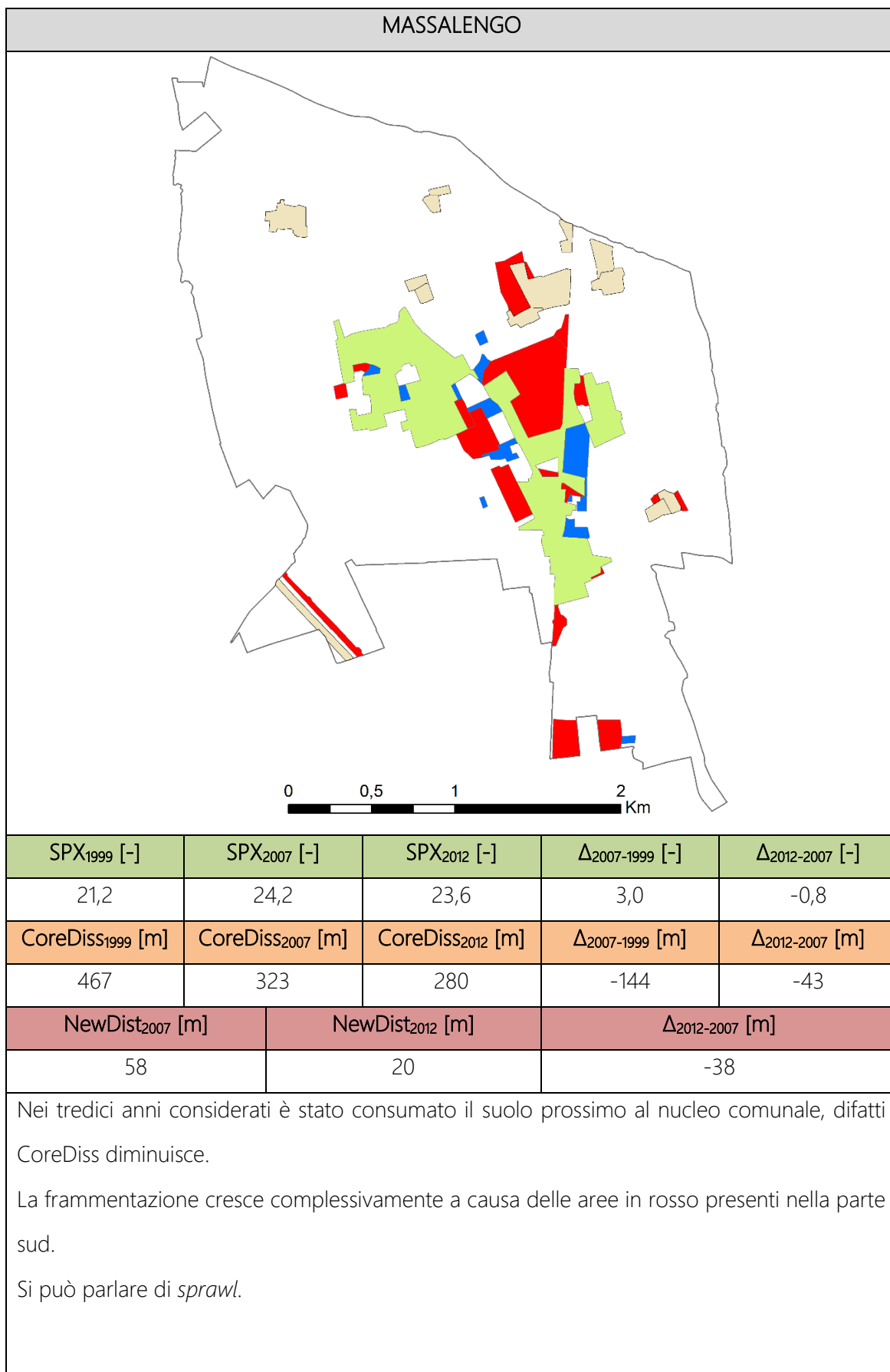


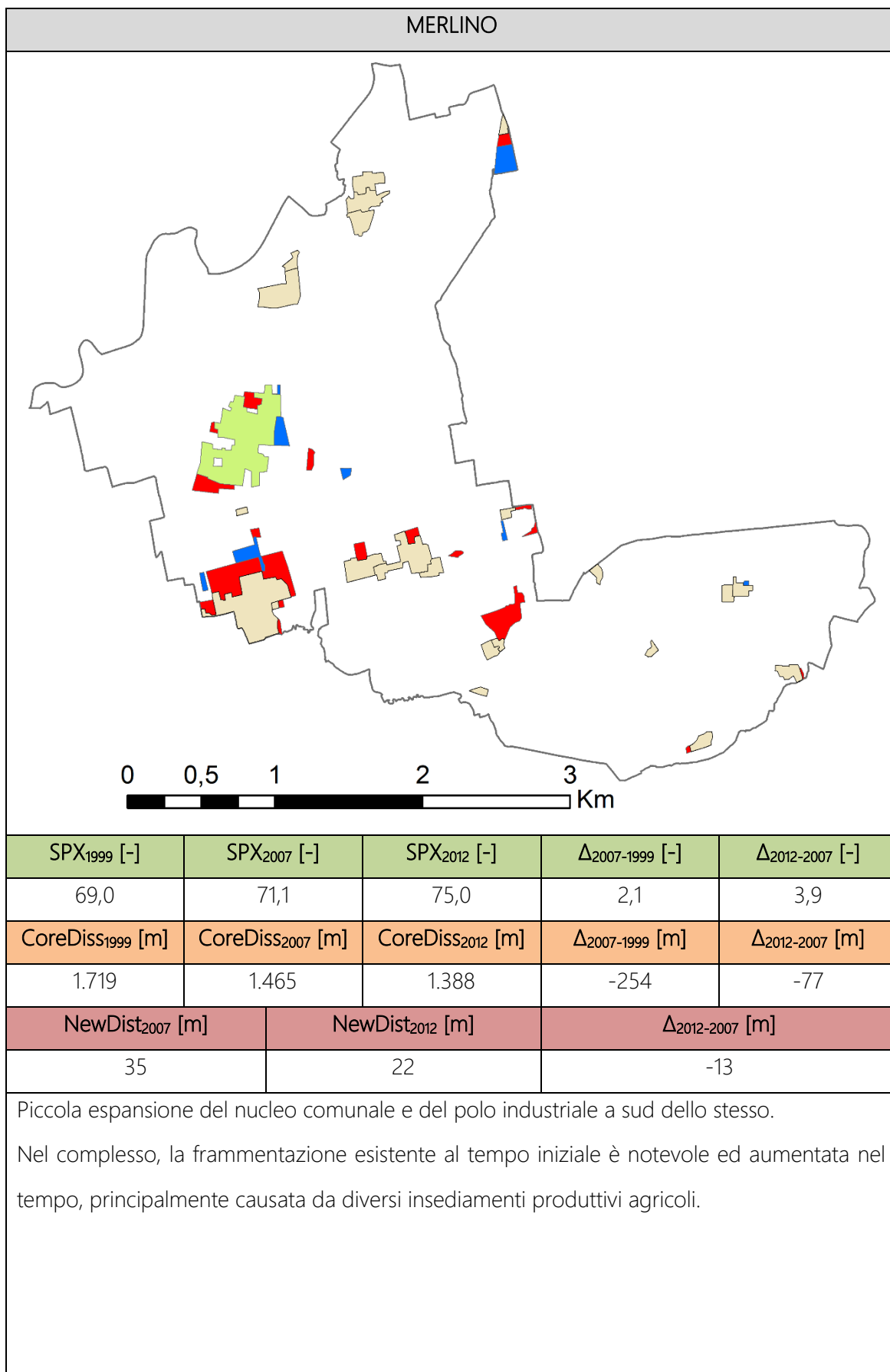


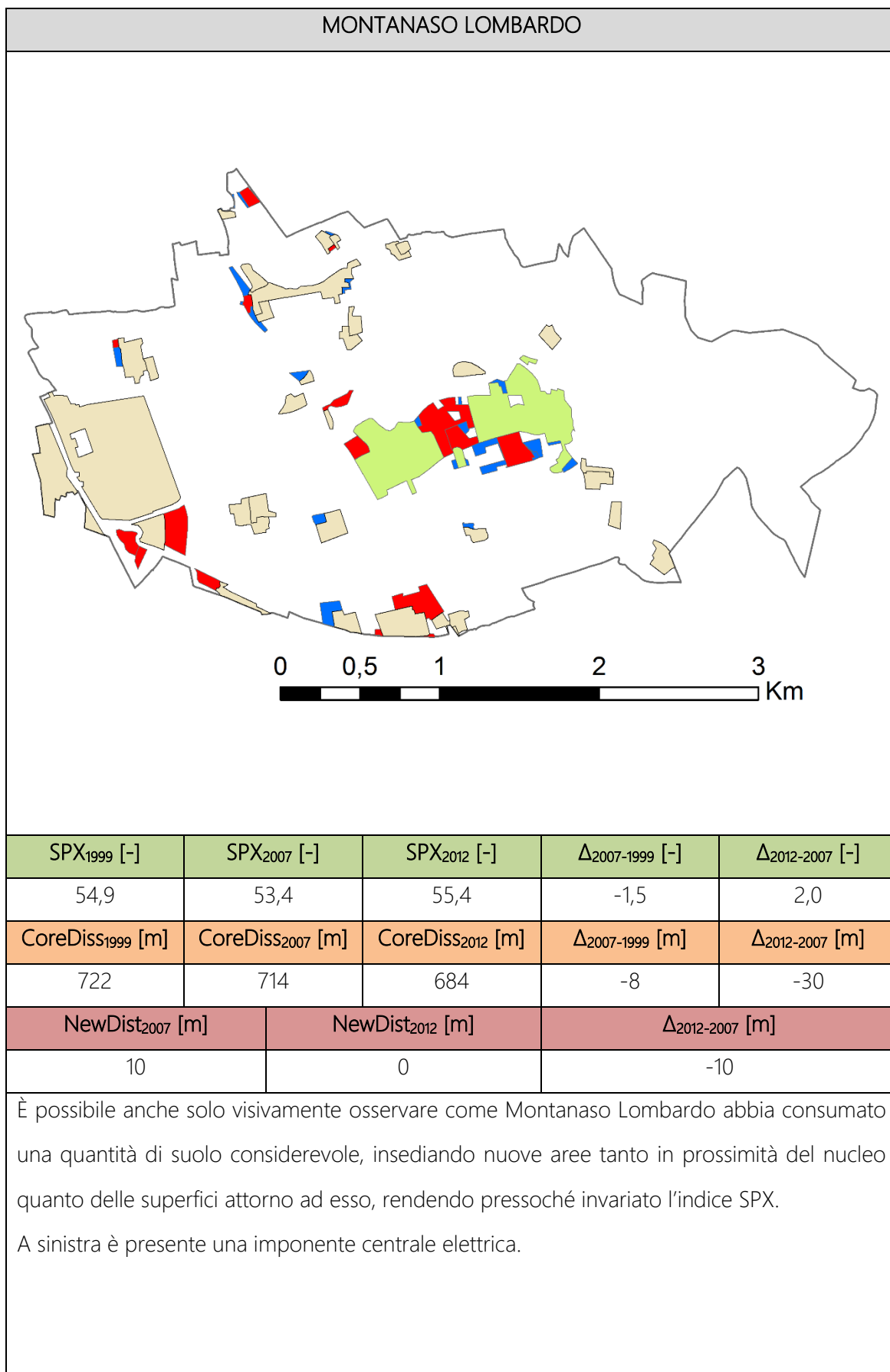


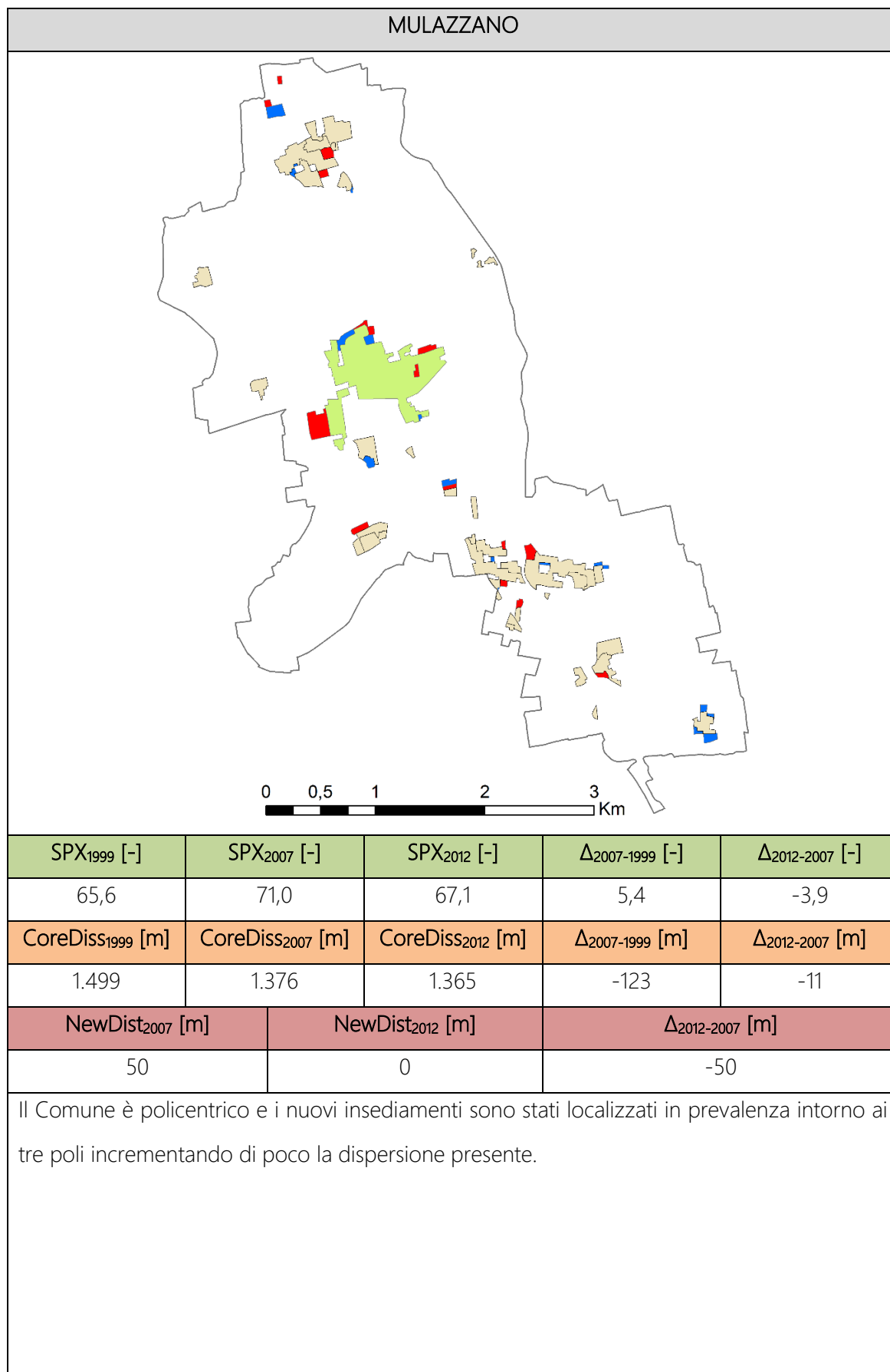


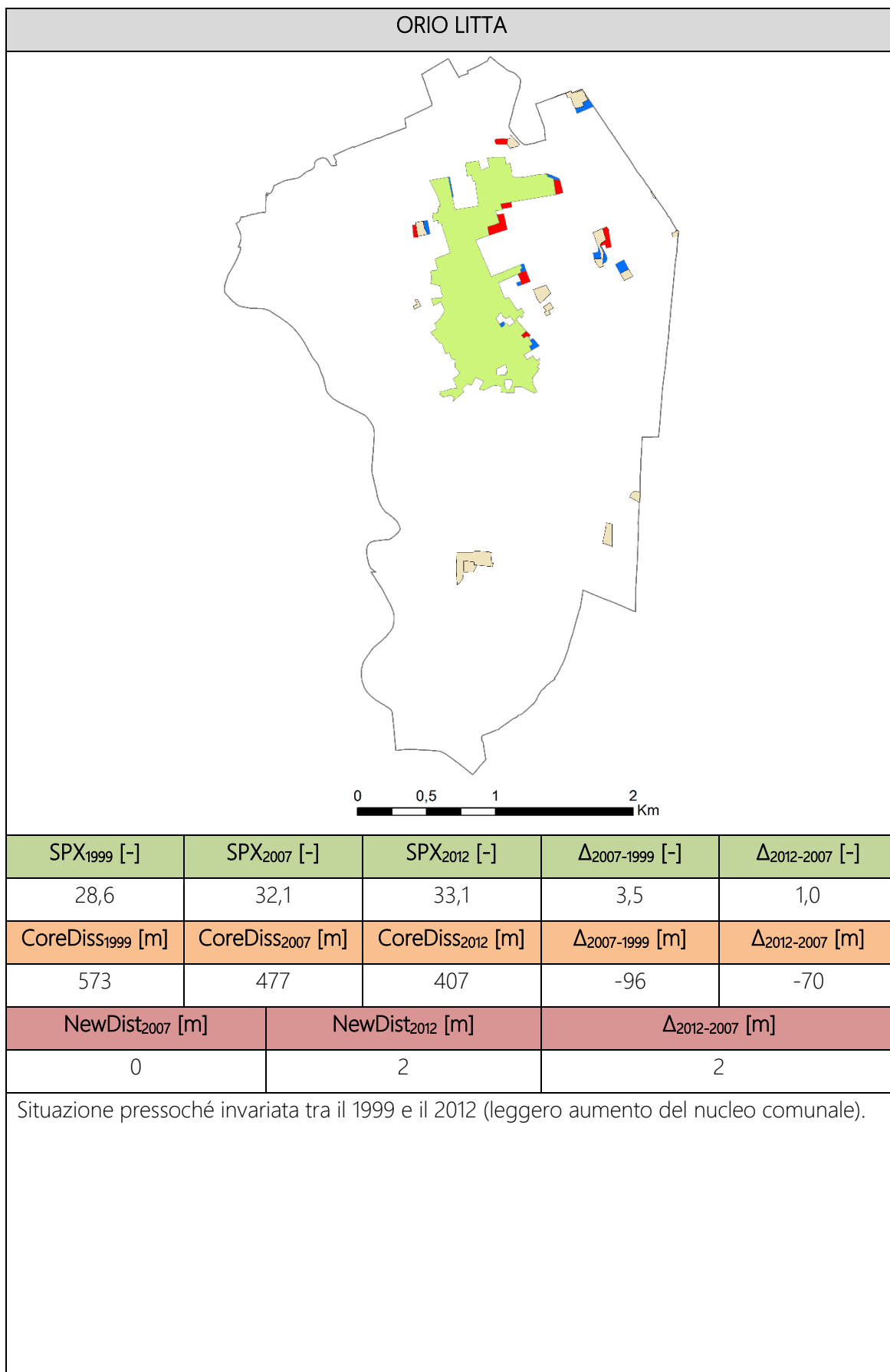


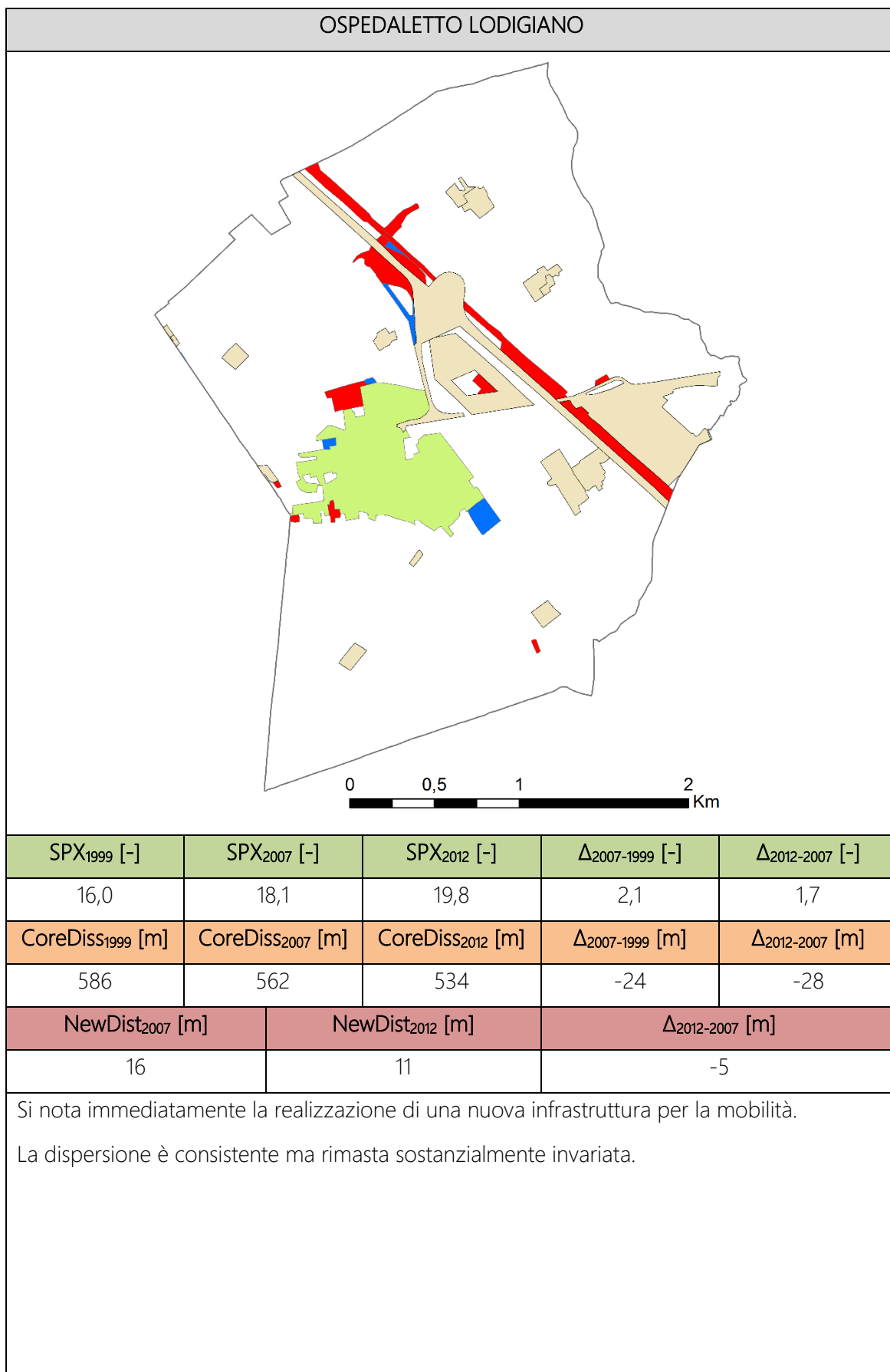


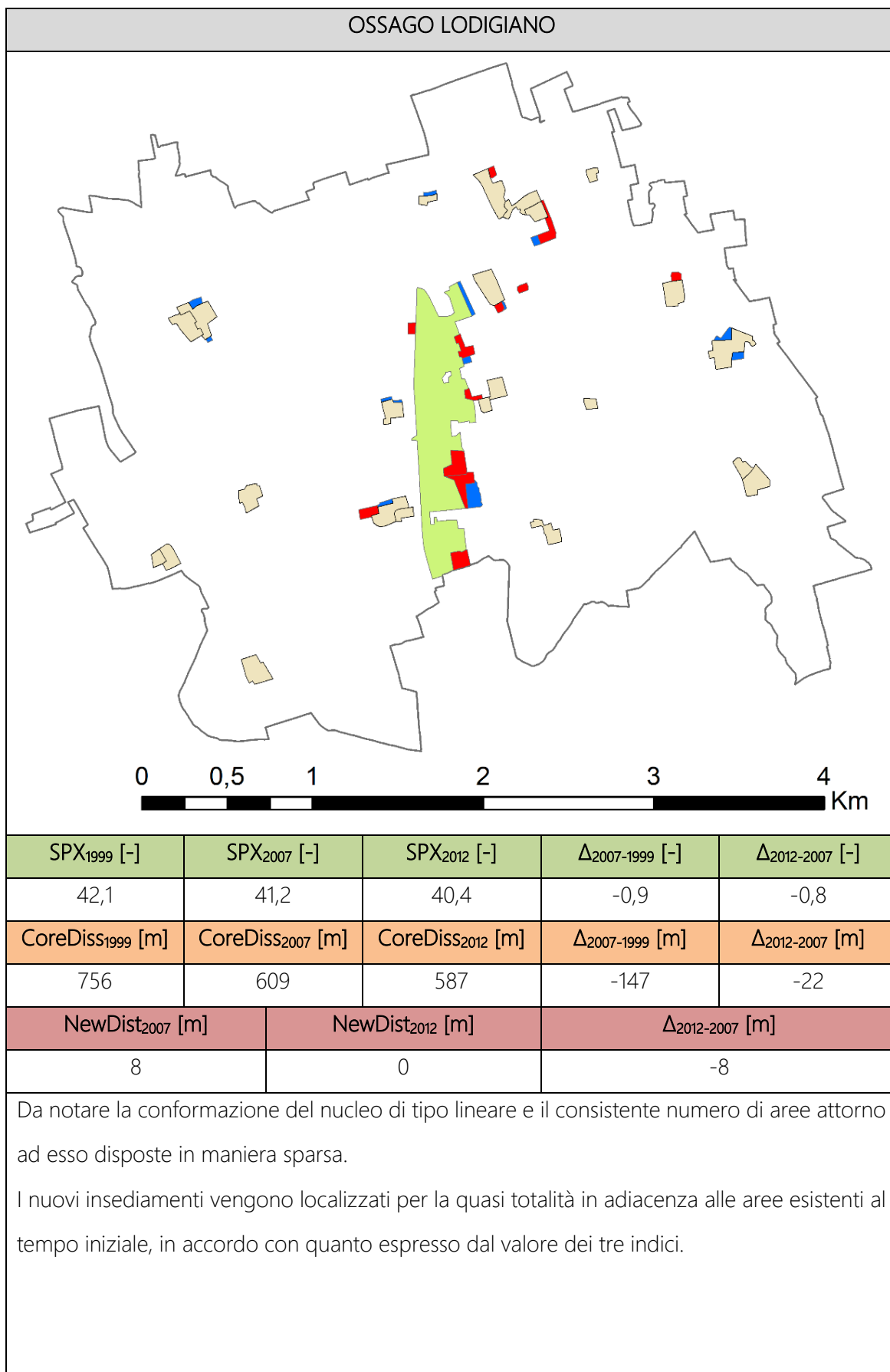


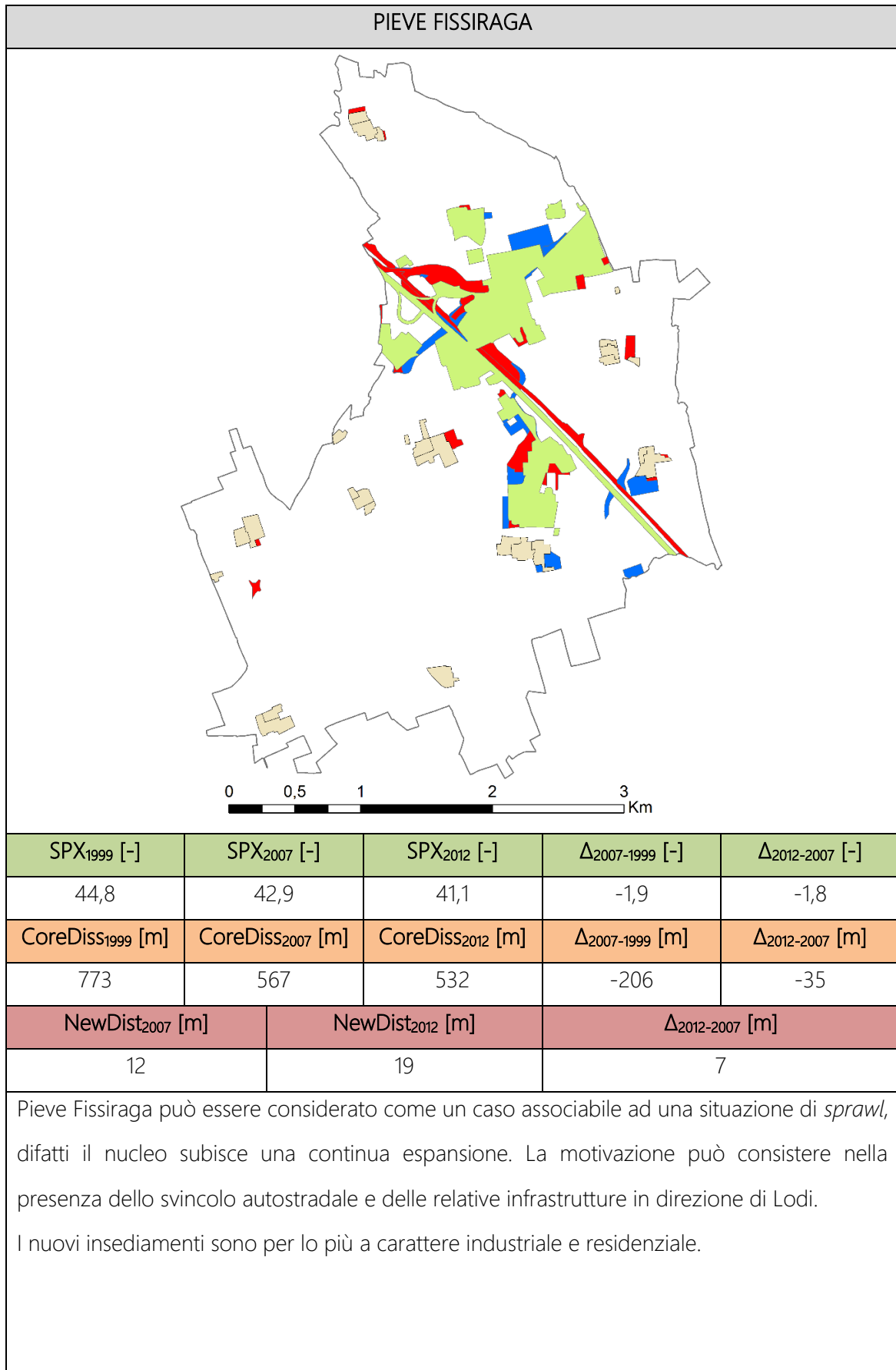


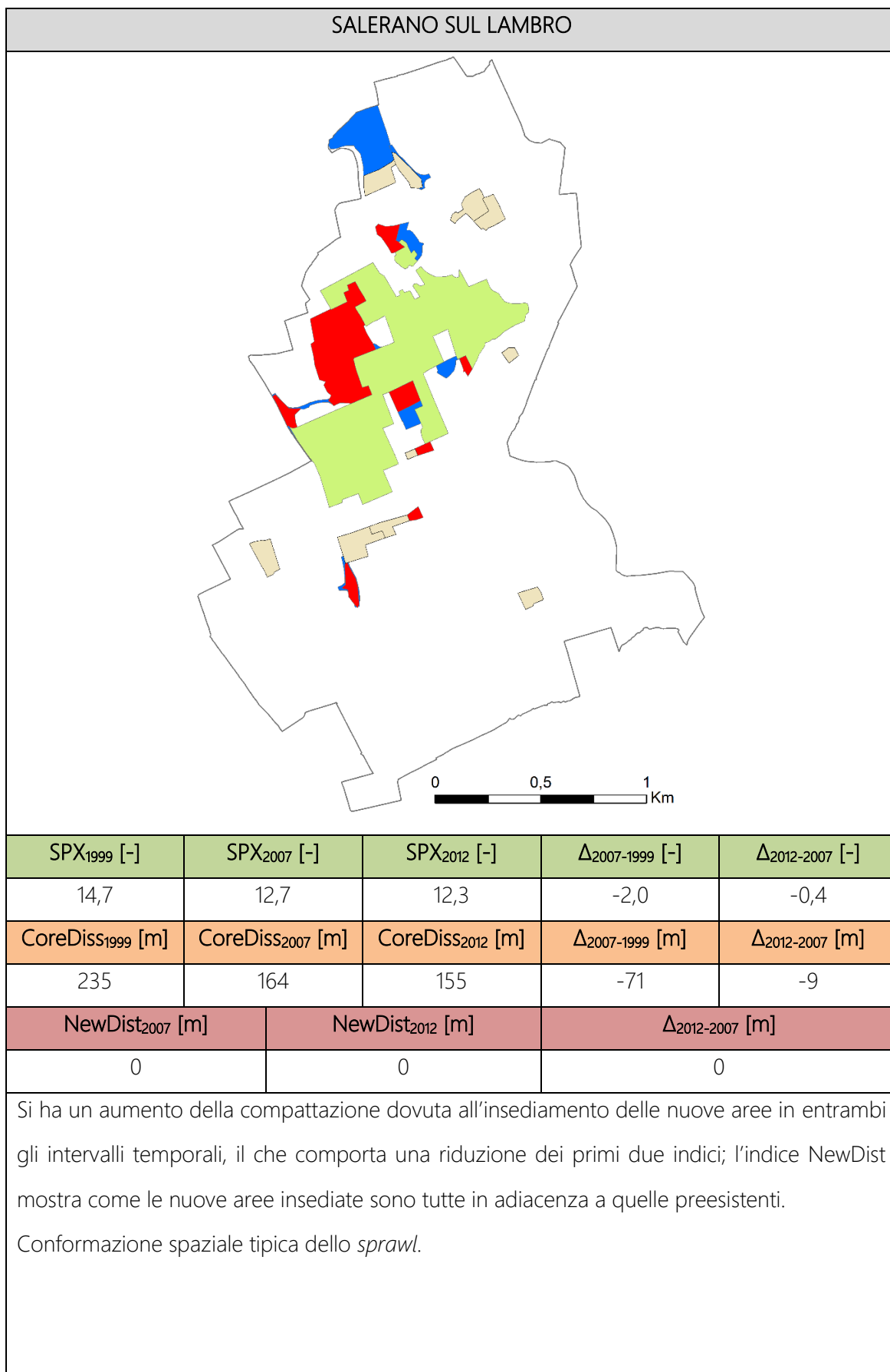


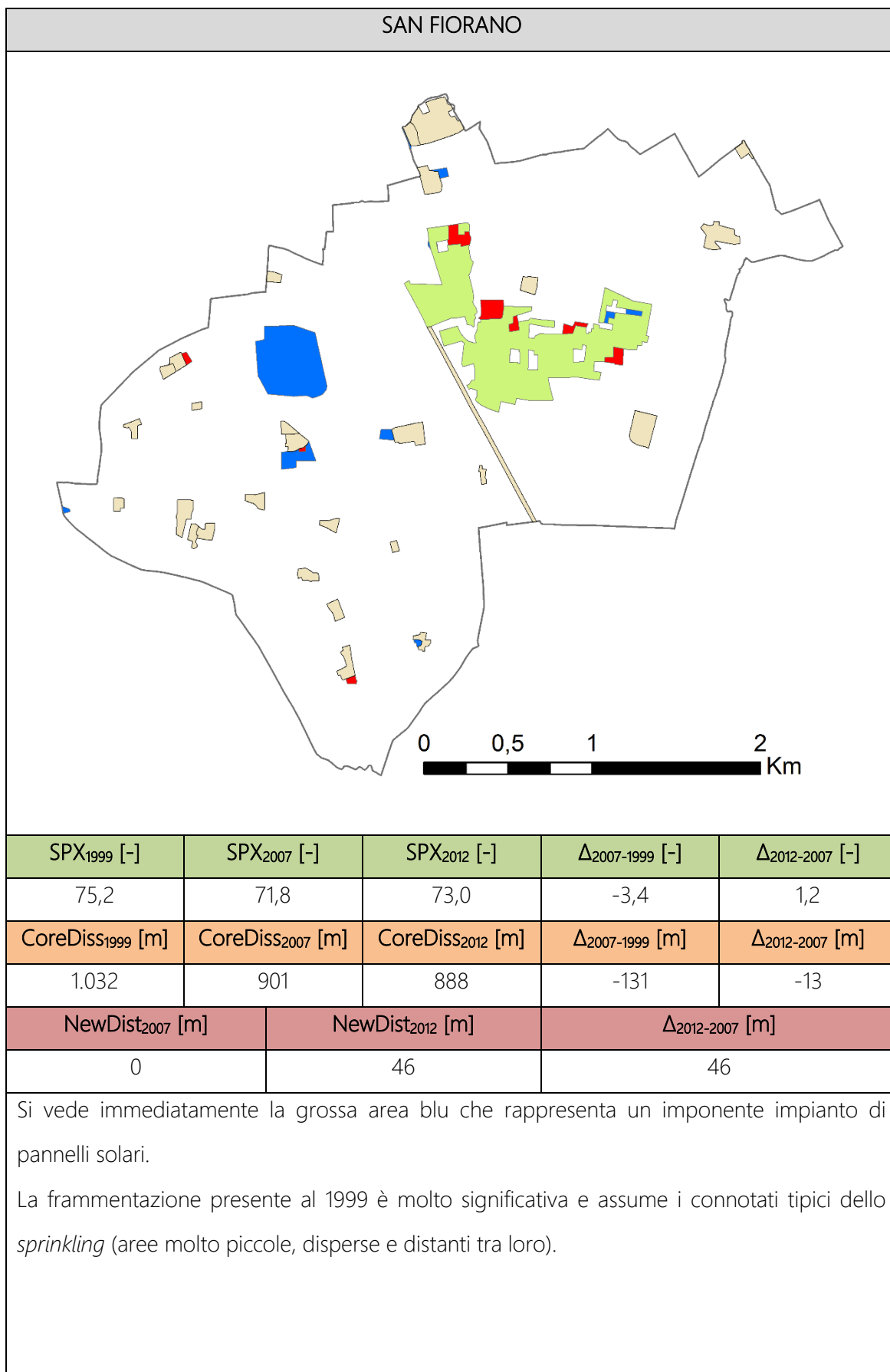


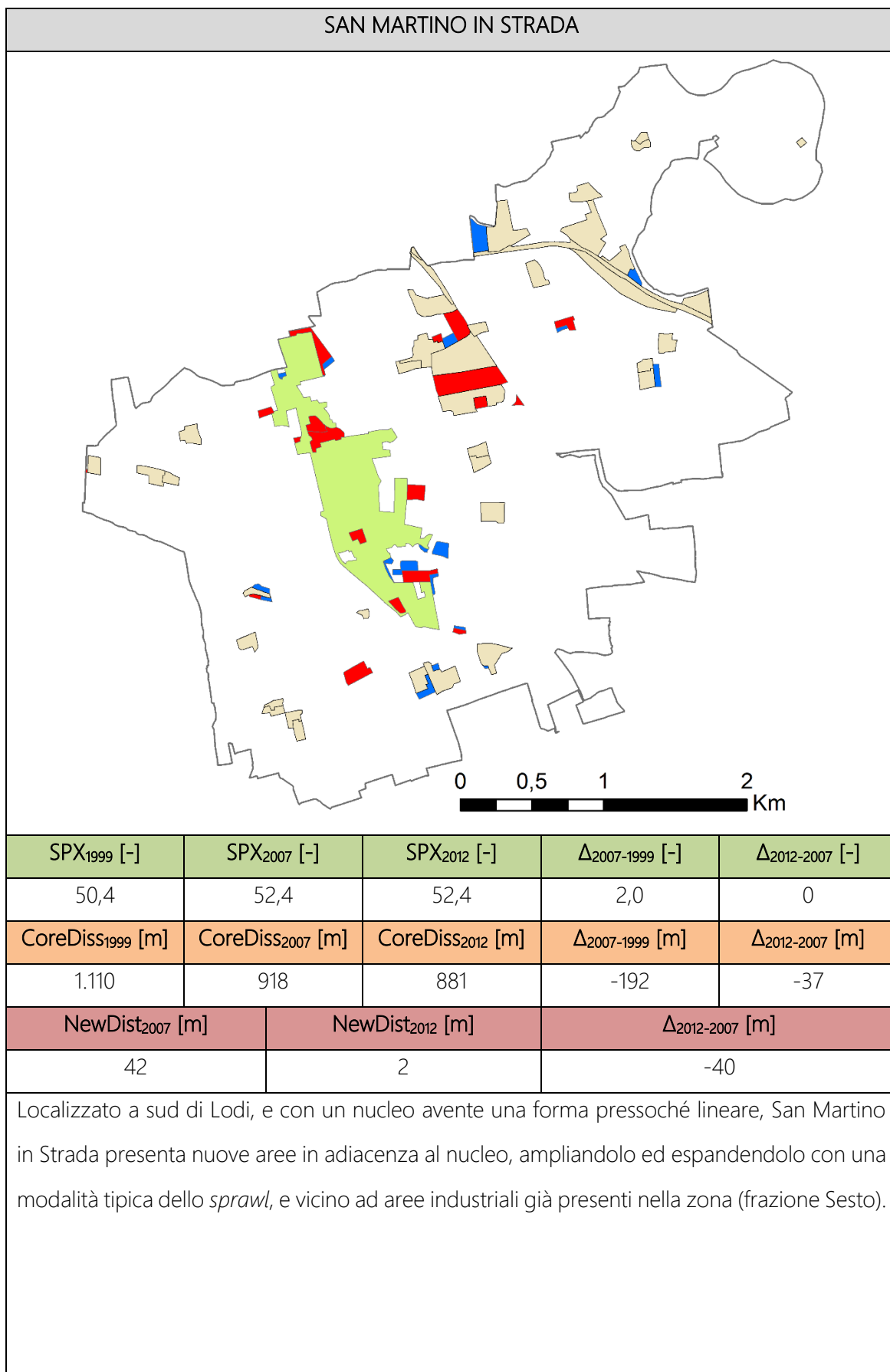


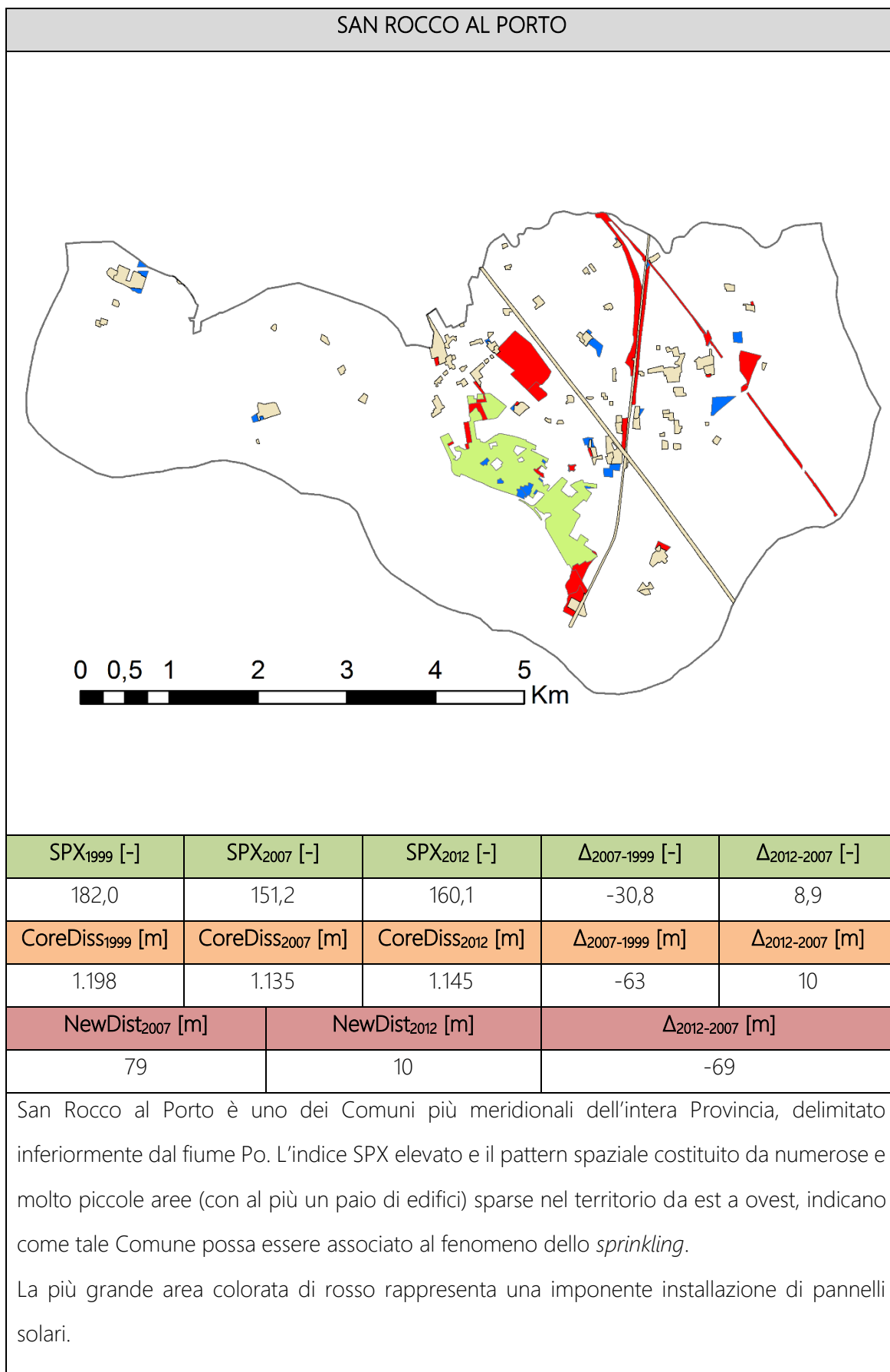


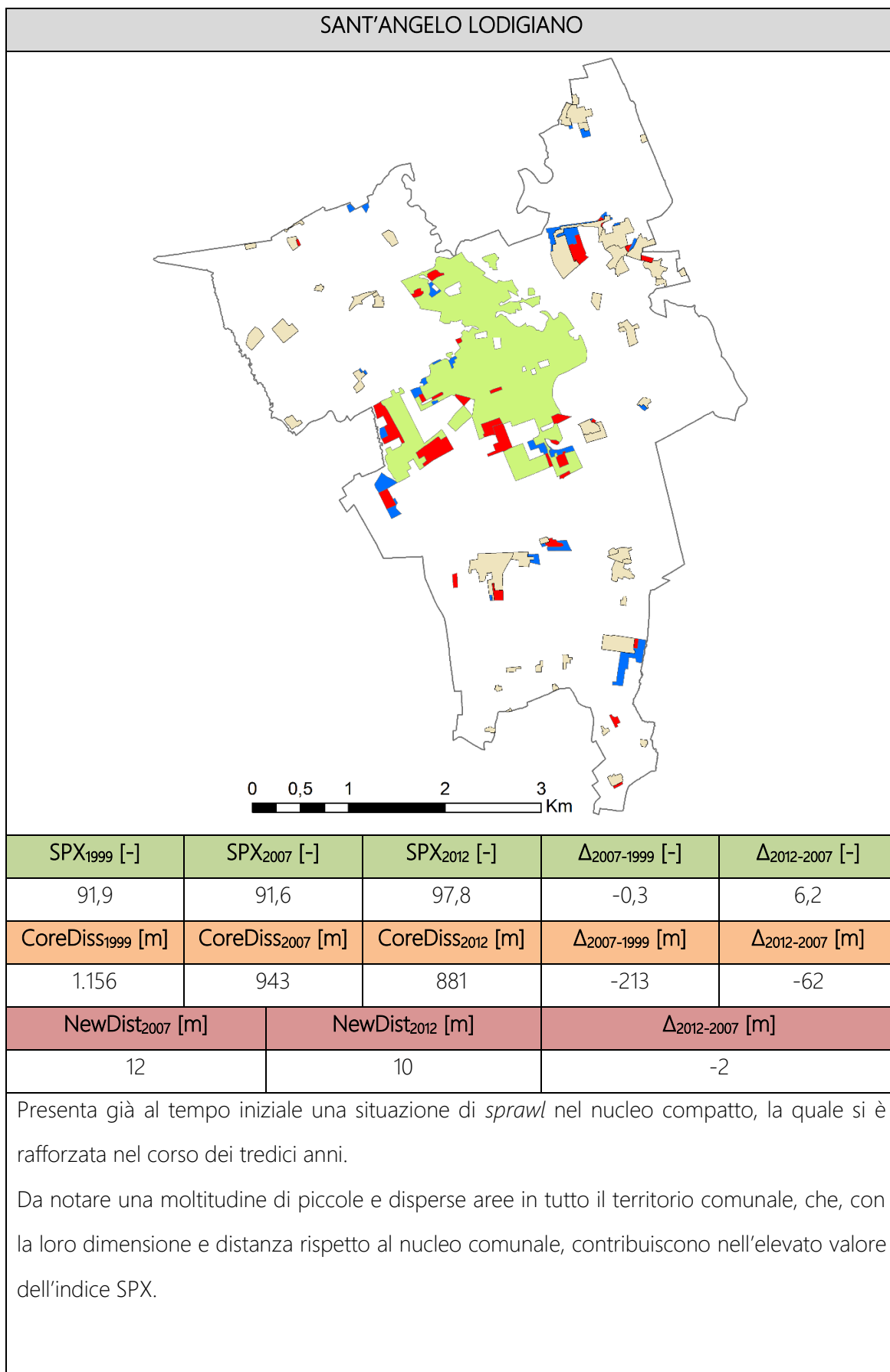


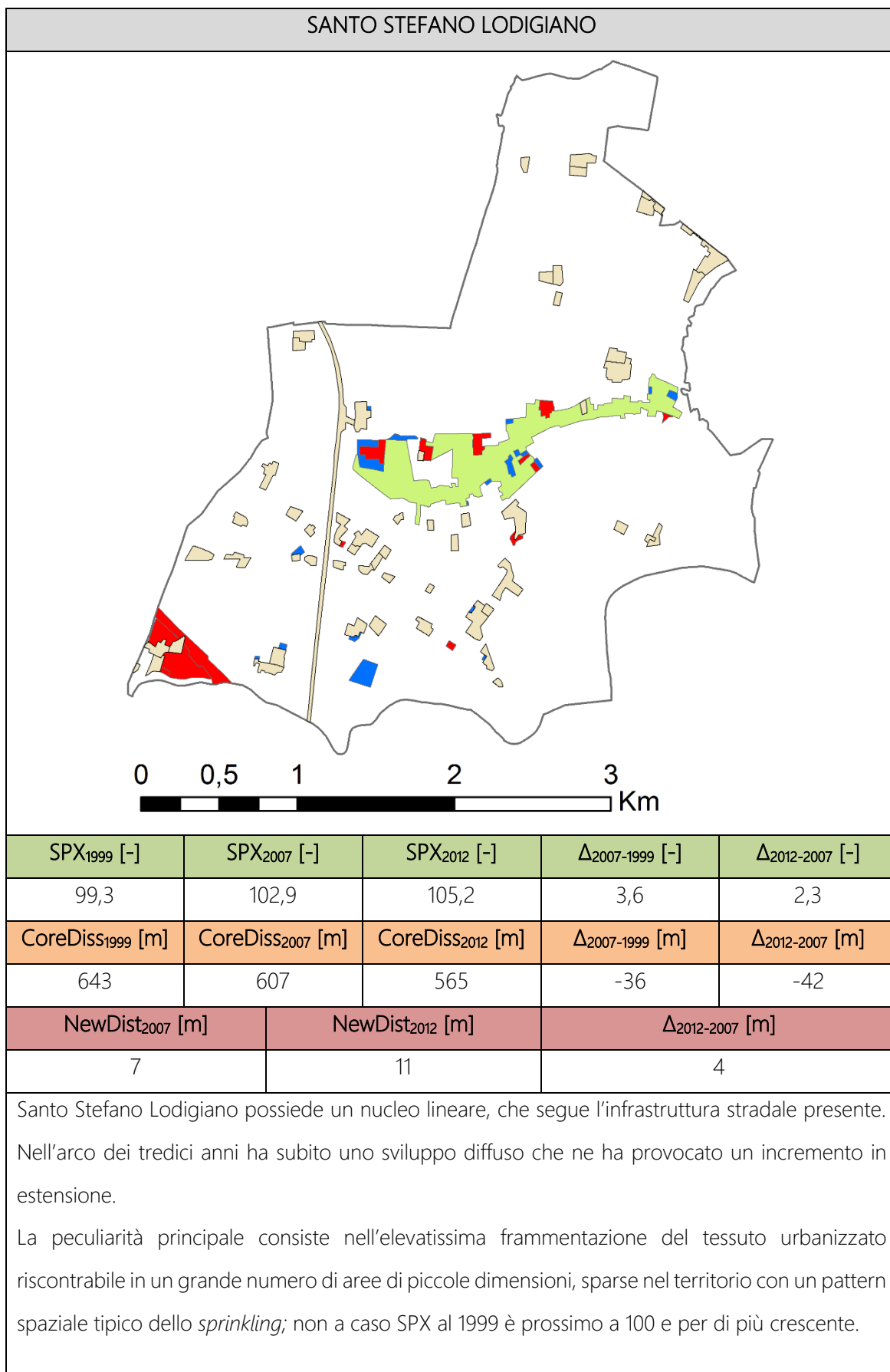


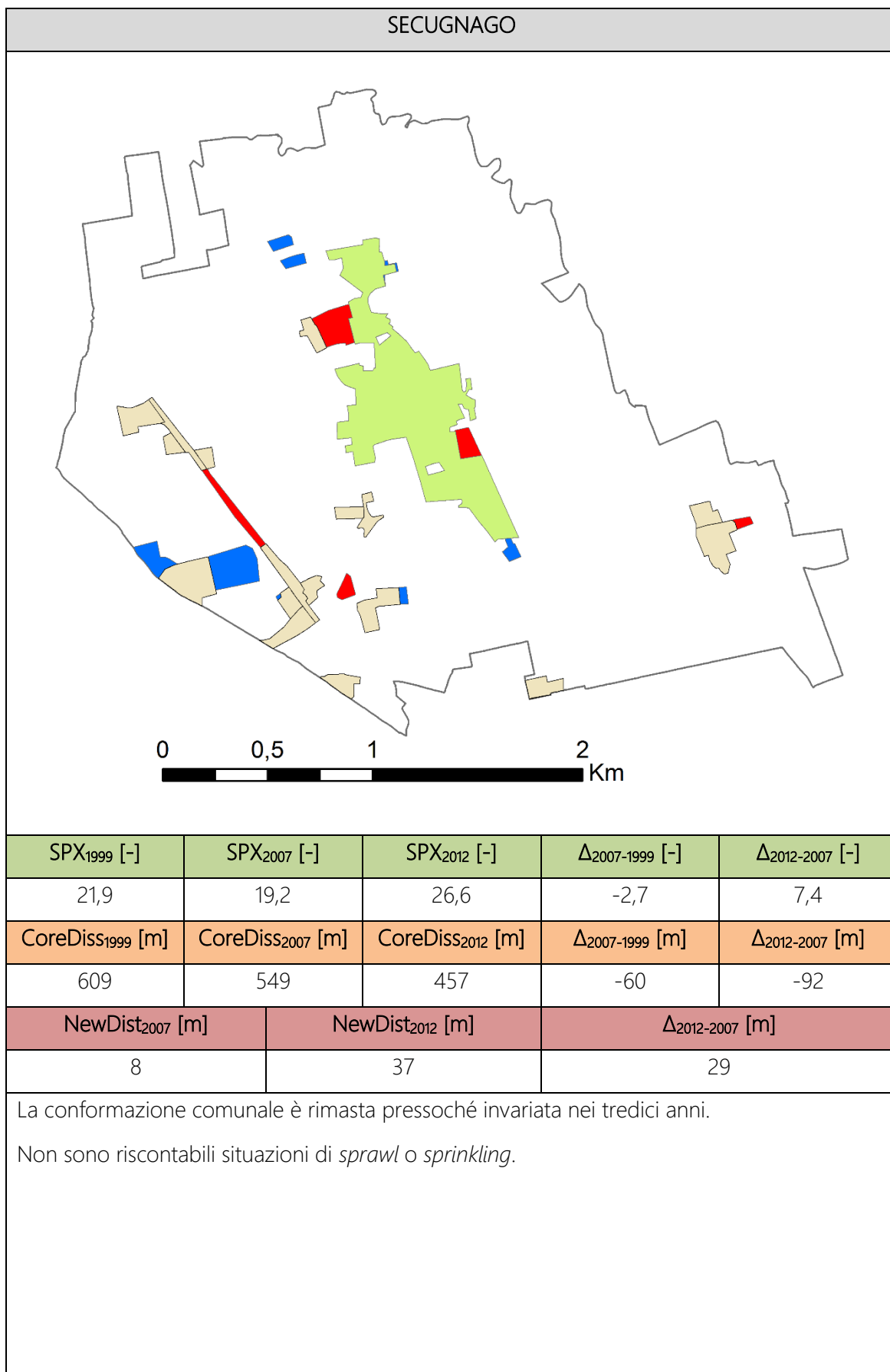


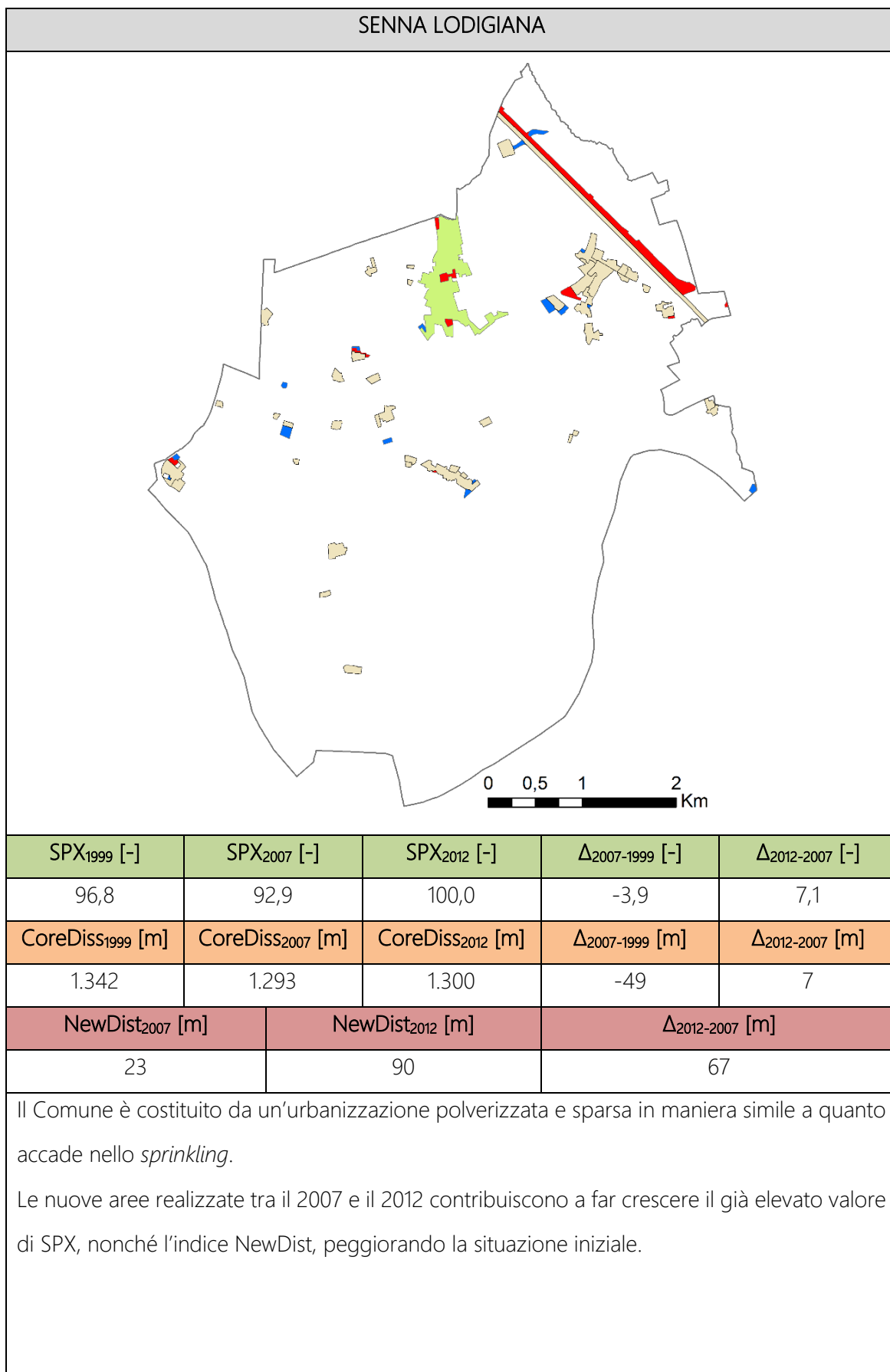


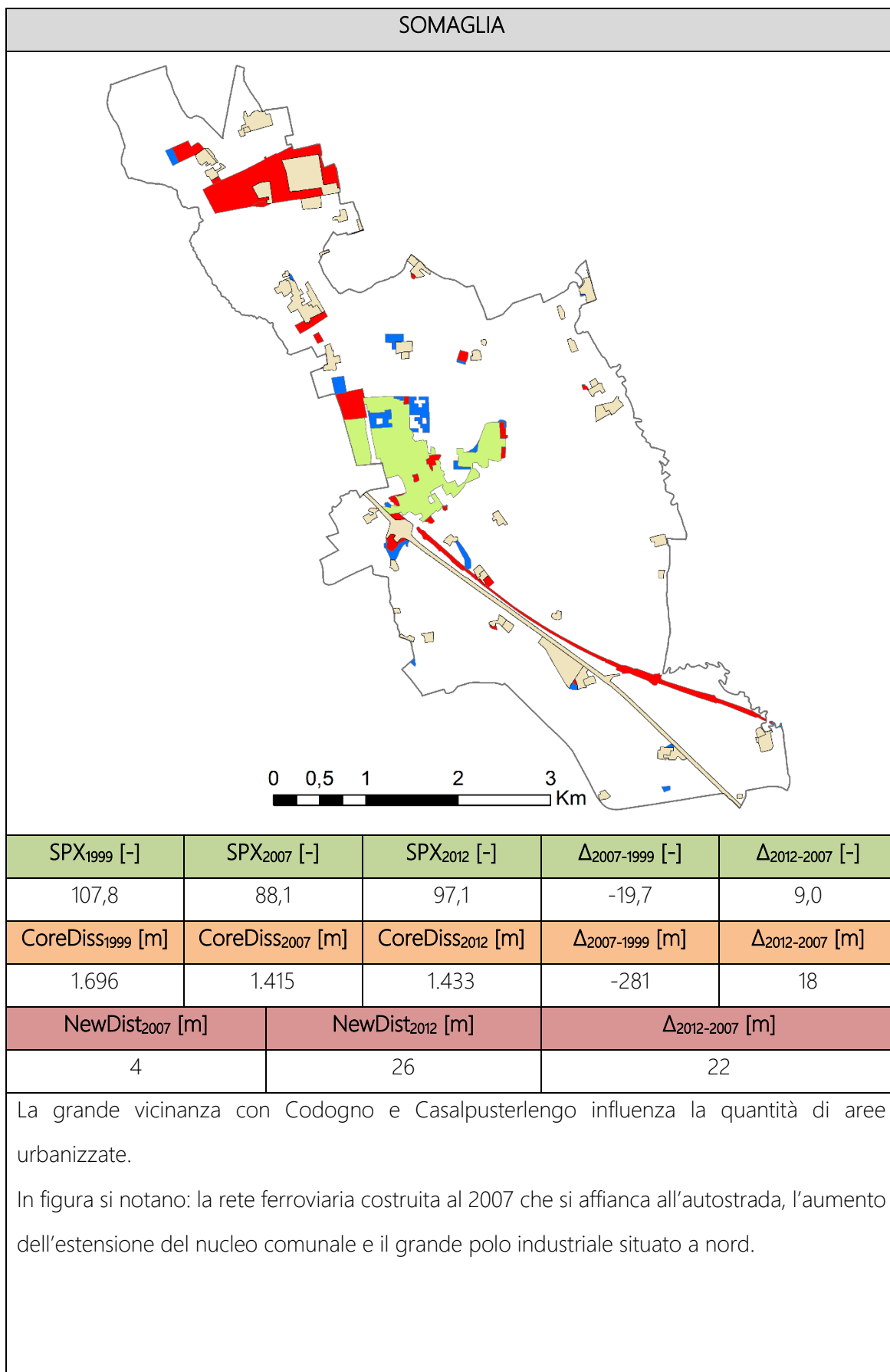


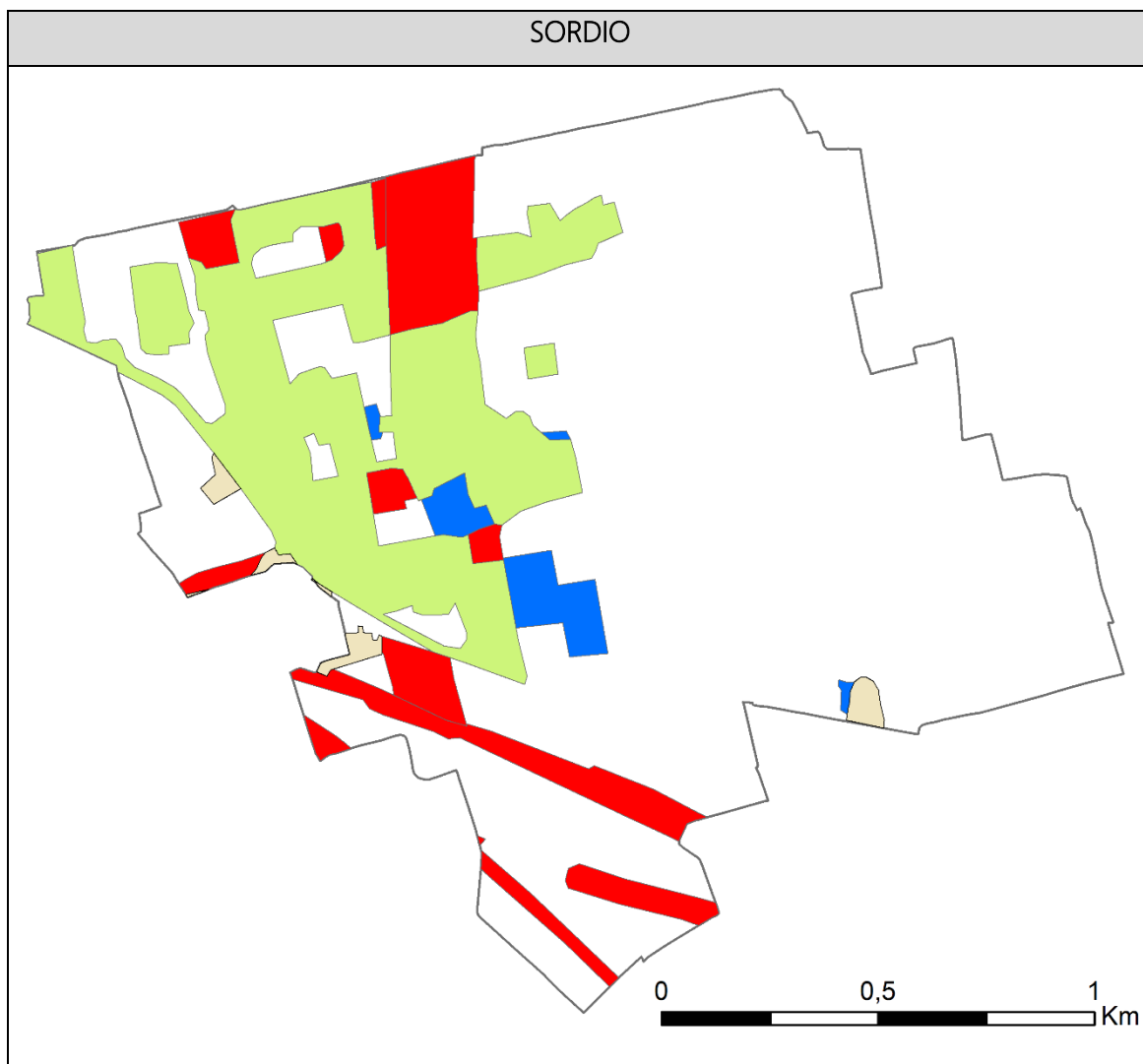






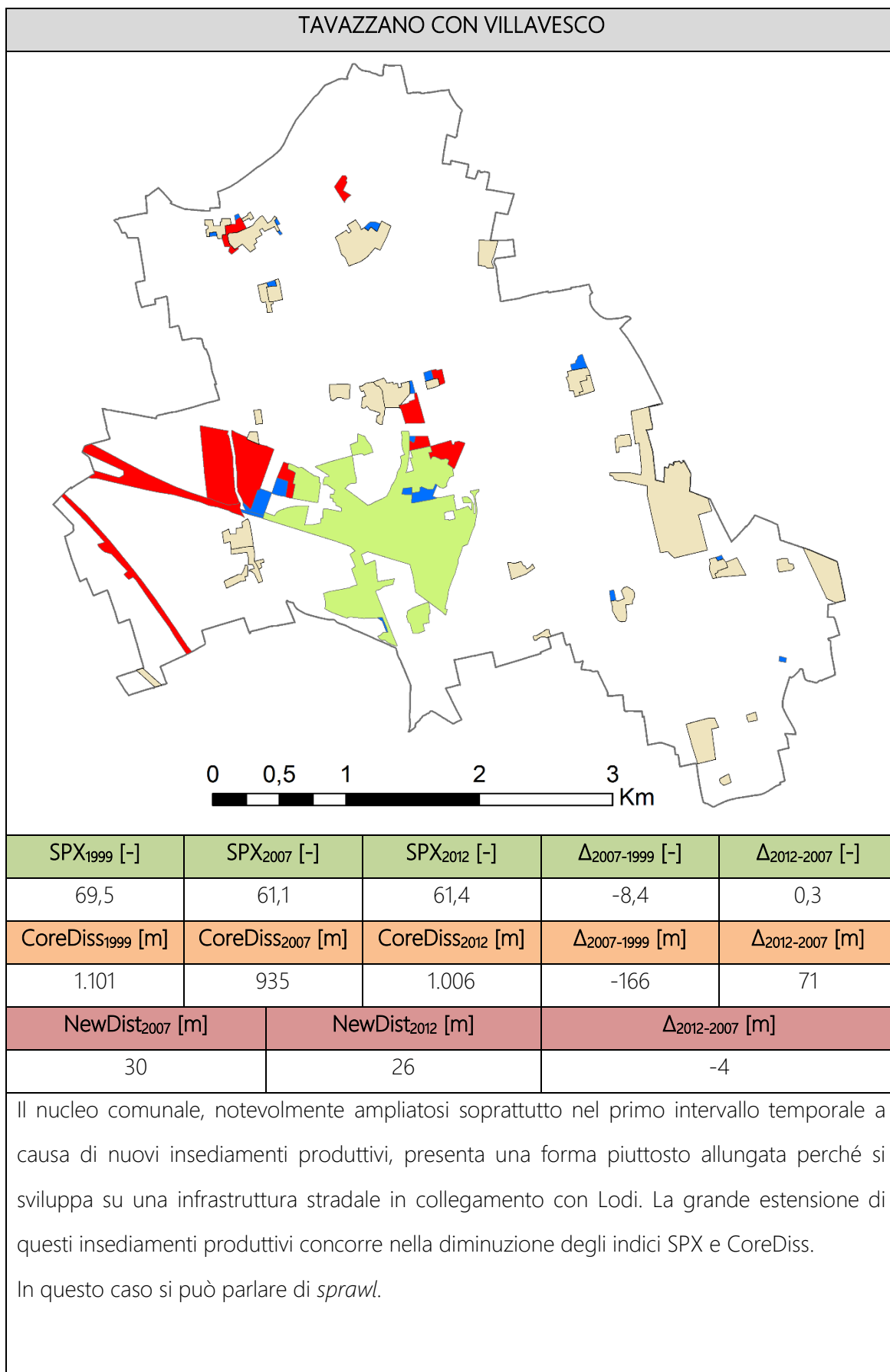


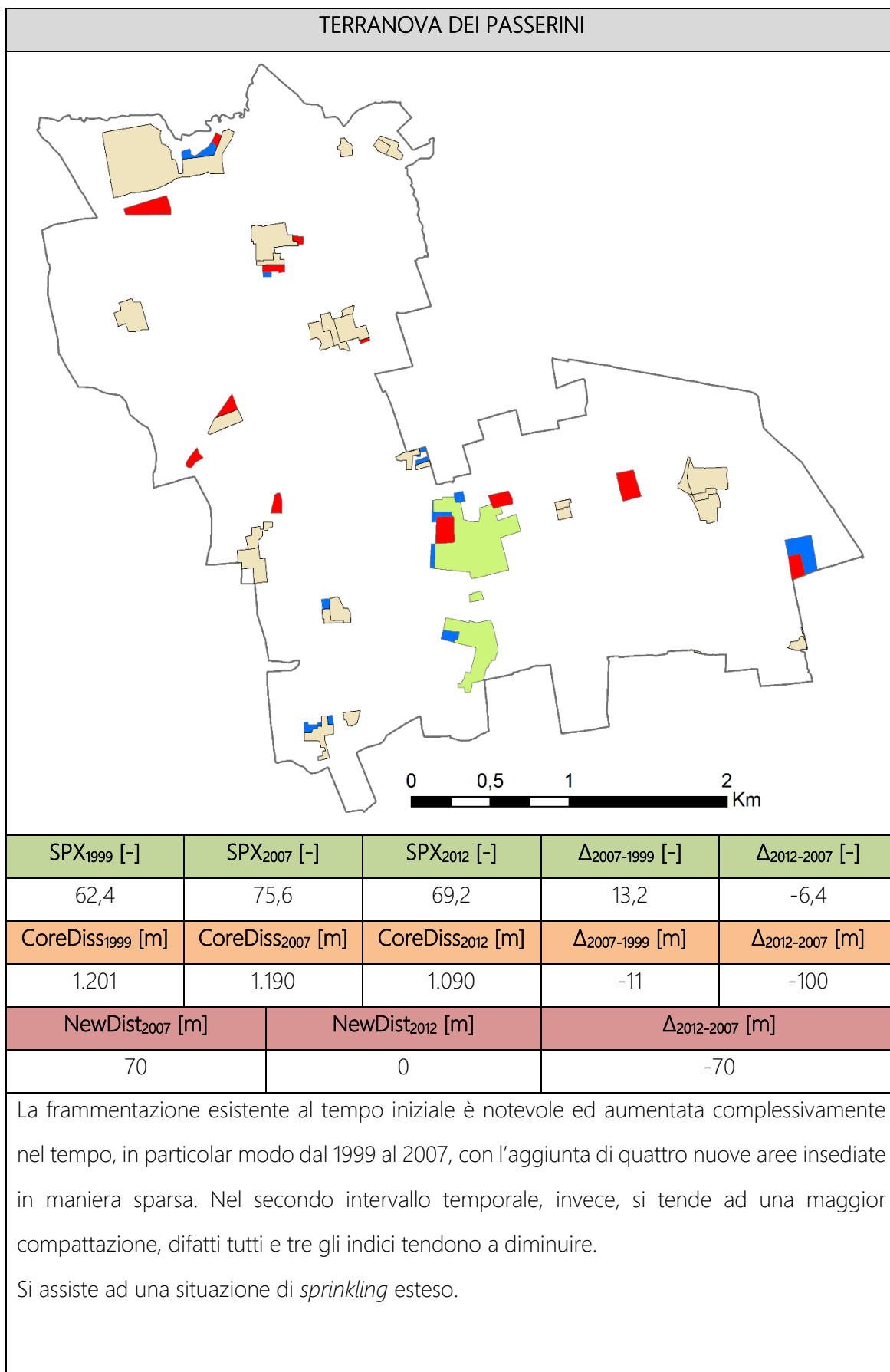


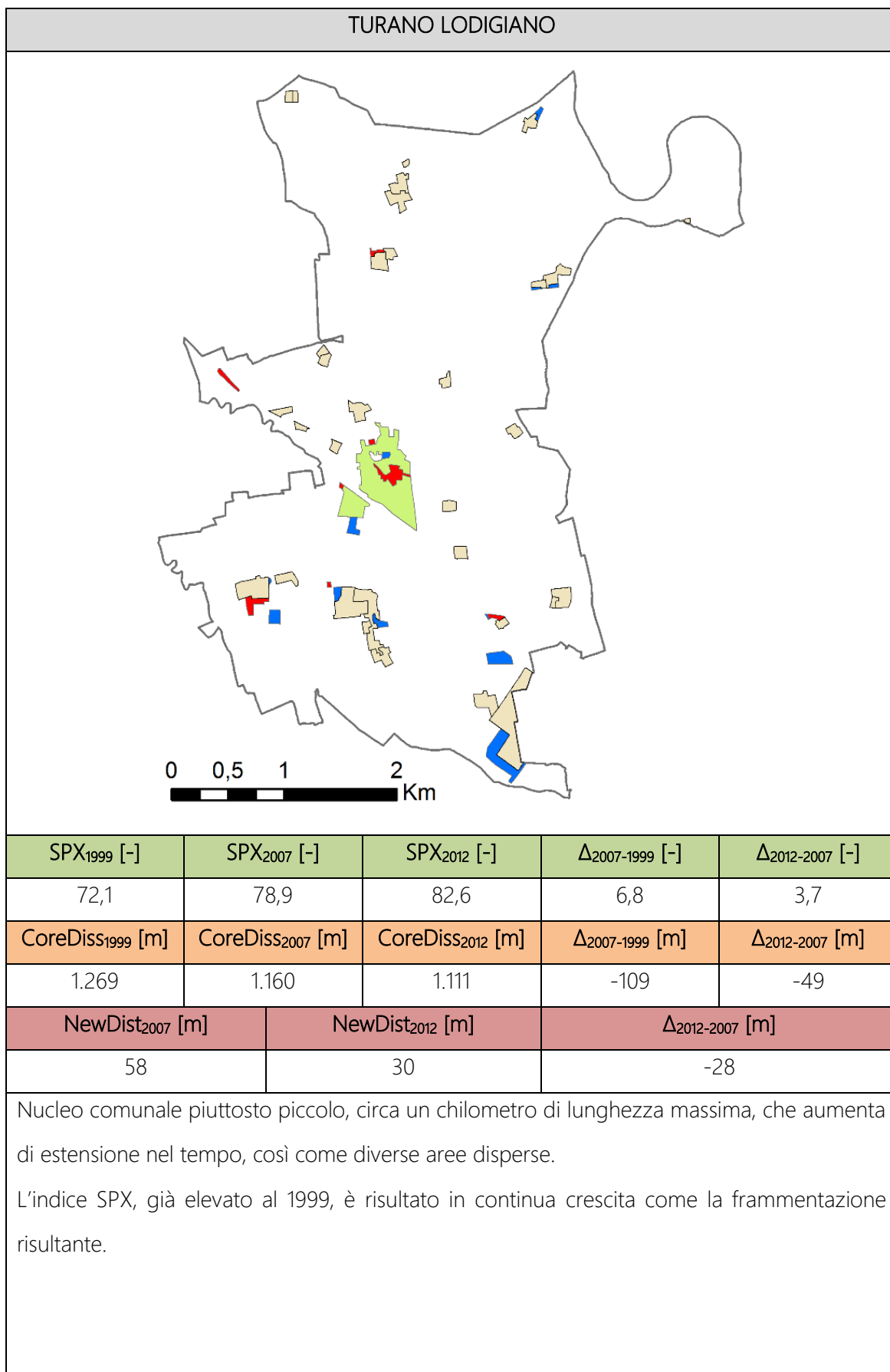


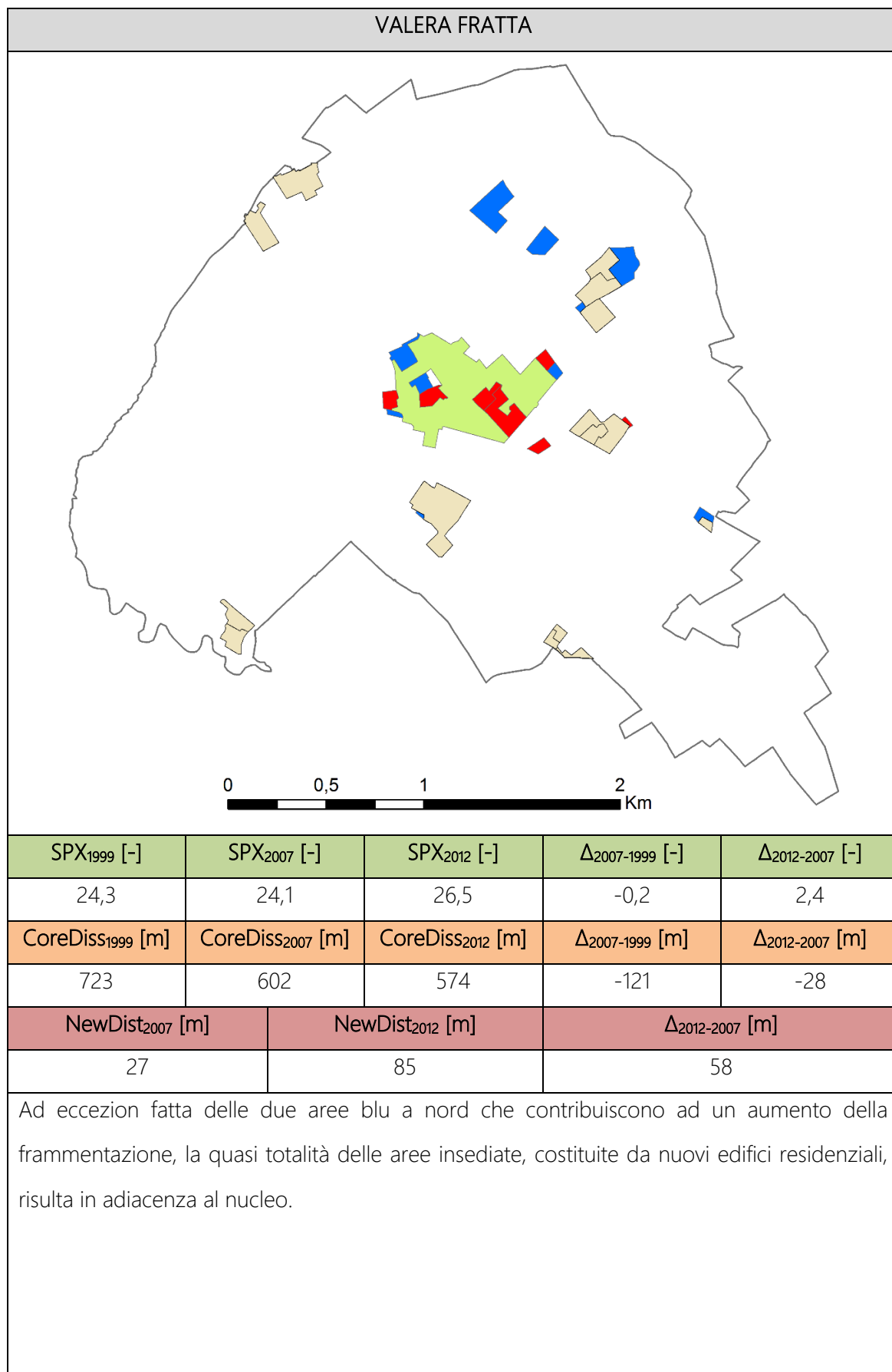
SPX ₁₉₉₉ [-]	SPX ₂₀₀₇ [-]	SPX ₂₀₁₂ [-]	$\Delta_{2007-1999}$ [-]	$\Delta_{2012-2007}$ [-]
9,6	13,5	14,7	3,9	1,2
CoreDiss ₁₉₉₉ [m]	CoreDiss ₂₀₀₇ [m]	CoreDiss ₂₀₁₂ [m]	$\Delta_{2007-1999}$ [m]	$\Delta_{2012-2007}$ [m]
248	97	85	-151	-12
NewDist ₂₀₀₇ [m]	NewDist ₂₀₁₂ [m]		$\Delta_{2012-2007}$ [m]	
0	0		0	

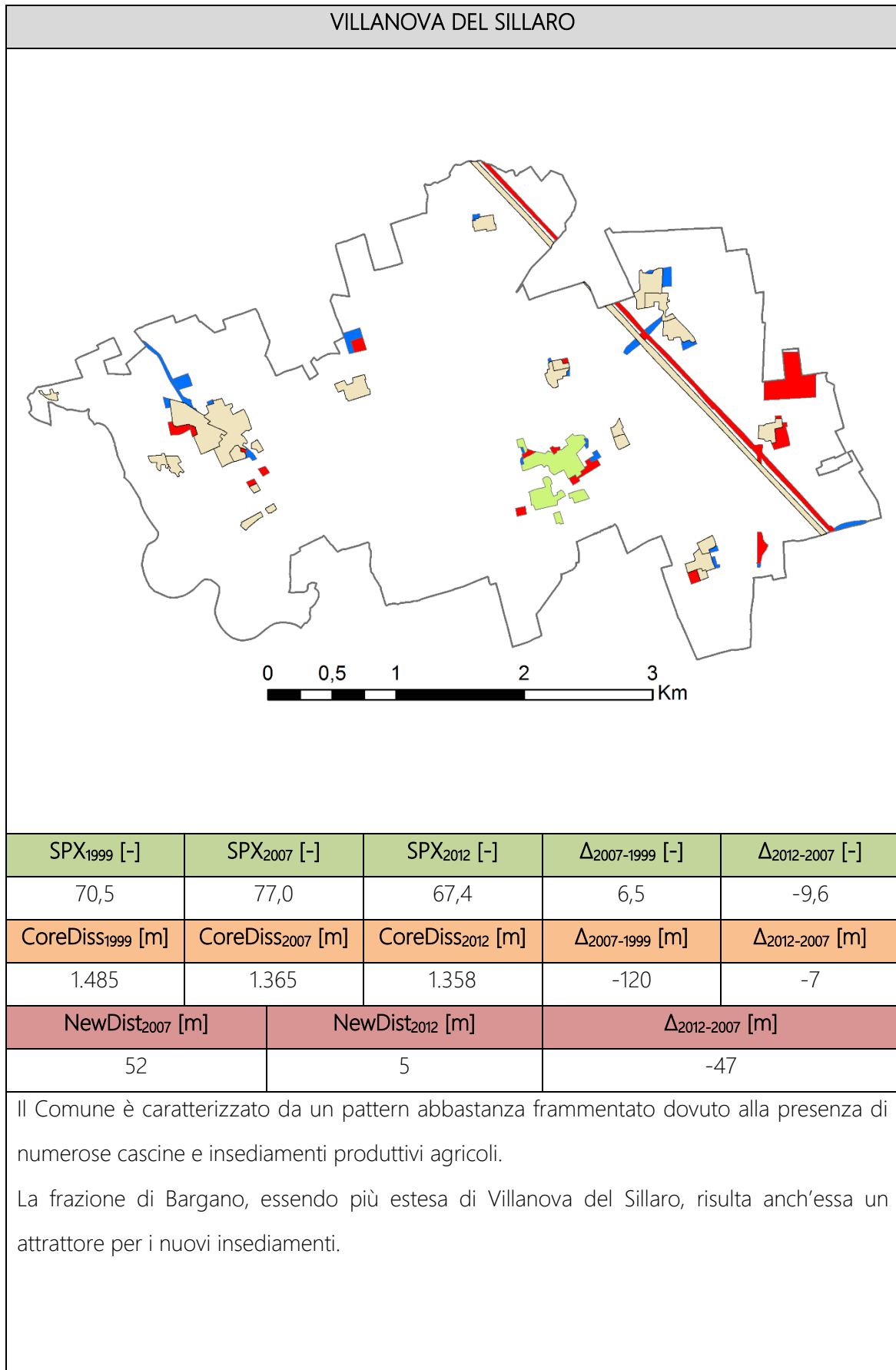
Nonostante l'aumento dell'indice SPX, dovuto alla realizzazione di infrastrutture per la mobilità nella parte più meridionale, non si è avuto un aumento della frammentazione in quanto la quasi totalità delle aree post 1999 sono state insediate in prossimità del nucleo più compatto. Per questo motivo è diminuito l'indice CoreDiss nel tempo.

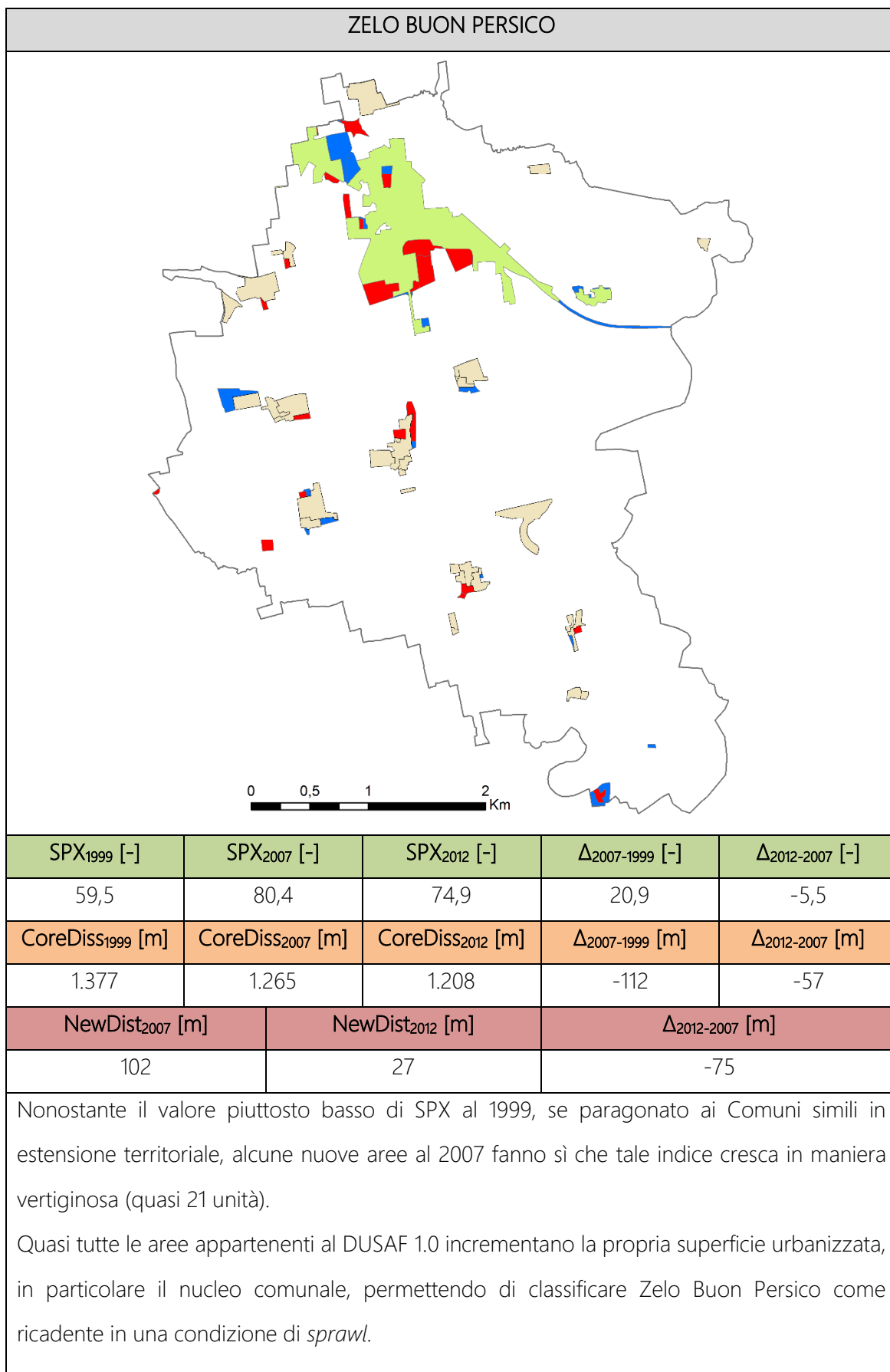












APPENDICE 4

OPPORTUNITA' E CRITICITA' DELLA METODOLOGIA E DEGLI INDICI UTILIZZATI

In questo lavoro di Tesi è stata applicata una precisa metodologia non esente da particolari limiti e problematiche. Per questo motivo vengono ora brevemente descritte affinché possano essere prese e tenute in considerazione come punto di partenza per lavori futuri.

Scala spaziale

Come visto nel Capitolo 3, l'analisi della frammentazione del tessuto urbano nella Provincia di Lodi è stata eseguita utilizzando come scala di riferimento quella comunale, in quanto è proprio in quest'ultima che risiedono i poteri decisionali in grado di segnare il destino dei suoli e non solo. Detto ciò, lo svantaggio principale nell'utilizzo della scala comunale consiste nel fatto che tutte le analisi e valutazioni, riguardanti sia la dispersione che la locazione delle varie superfici antropizzate in un Comune, non tengono conto di tutte le condizioni al contorno che vi possono essere, come l'esistenza di significativi poli attrattori presenti in altri Comuni limitrofi a quello analizzato (questo potrebbe essere la causa e spiegazione della lontananza di una determinata area rispetto al nucleo del proprio Comune). È inoltre logico che, utilizzando questa scala, potrebbero sorgere possibili problematiche correlate sia all'estensione che alla forma della superficie di un Comune; l'utilizzo di una griglia a maglia quadrata potrebbe certamente risolvere questo problema, ma allo stesso tempo crearne altri, come quello di amplificare gli effetti di bordo.

Banca dati DUSAF

Un altro limite riscontrato in questo lavoro riguarda l'utilizzo dei file DUSAF per l'ottenimento delle nuove superfici di classe 11 e 12 per i due istanti temporali 2007 e 2012, successivi a quello iniziale. Per ottenere questo dato si è utilizzato il comando di ArcGIS "Symmetrical Difference", utilissimo ed efficace, però troppo sensibile al modo in cui le varie geometrie contenute negli shapefile vengono descritte (per esempio, lo stesso poligono potrebbe avere una forma leggermente diversa nei due istanti, oppure essere costituito da una sola geometria prima e da due geometrie dopo).

È doveroso infine ricordare che la metodologia applicata in questo elaborato non permette di riconoscere a pieno il fenomeno dello *sprinkling* così come viene definito dal Prof. Ing. B. Romano (Rif. Paragrafo 2.4). Difatti, a causa della necessità di eseguire le analisi a più istanti per rilevare le variazioni nel tempo, le uniche banche dati utili per questo scopo sono risultate essere i DUSAF che forniscono una informazione riguardante gli usi del suolo piuttosto che le unità volumetriche.

Indici utilizzati

A seguire viene riportata una tabella riassuntiva dei principali vantaggi e svantaggi relativi ai tre indici utilizzati nel testo.

Tabella 29: Caratteristiche, vantaggi e criticità dei tre indici utilizzati

Indice	Opportunità	Criticità
SPX	<ul style="list-style-type: none"> • Non particolarmente complesso dal punto di vista matematico; • Permette di quantificare la frammentazione spaziale; • È in funzione della distanza tra due punti. 	<ul style="list-style-type: none"> • Essendo in funzione della distanza, si ha una potenziale dipendenza dalla scala di lavoro considerata; • Necessità dell'operazione di "Dissolve" per rendere l'indice attendibile (con la base di dati utilizzata); • Non tiene in conto l'eventuale presenza di ostacoli.
CoreDiss	<ul style="list-style-type: none"> • Matematicamente semplice; • Permette di quantificare la distanza che intercorre tra le aree ed un grande "polo antropizzato", come può essere il nucleo comunale. 	<ul style="list-style-type: none"> • Applicandolo a diversi istanti temporali, la probabilità di ottenere una variazione dell'indice negativa è molto elevata; • Non è strettamente legato alla frammentazione del tessuto urbano; • Non tiene in conto l'eventuale presenza di ostacoli.
NewDist	<ul style="list-style-type: none"> • Matematicamente semplice; • Permette di calcolare quante sono e a quali distanze si posizionano le nuove aree insediate in maniera dispersa rispetto a quelle preesistenti. 	<ul style="list-style-type: none"> • Anche se legato al concetto di frammentazione, l'indice non permette di quantificarla direttamente; • È un indice che può essere utilizzato solo per ottenere informazioni secondarie sulla dispersione; • Veramente significativo solo nel caso di valore nullo; • Non tiene in conto l'eventuale presenza di ostacoli.