

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

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



Genesi insediativa e struttura di una
agglomerazione urbana. Un'analisi
configurazionale di Milano

Relatore: Prof. Giovanni Rabino

Correlatore: Prof. Valerio Cutini

Tesi di Laurea Specialistica di:

Denise Farese

Matr. 818058

Anno Accademico: 2015-2016

Sommario

L'analisi configurazionale rappresenta un tema molto dibattuto negli ultimi anni che si è conquistato un vasto pubblico ed il riconoscimento come tecnica di analisi dello spazio urbano. Molteplici studi e ricerche hanno dimostrato infatti l'affidabilità e l'innovazione del metodo, attestandone la capacità nell'affiancare i più consolidati e tradizionali metodi di analisi del territorio.

Per meglio comprendere in che modo l'analisi configurazionale rappresenta un efficiente strumento di pianificazione, si propone in questo lavoro una sperimentazione sulla città di Milano che riveste un ruolo interessante per la sua struttura complessa, di difficile interpretazione, e su cui fino ad ora non è stata affrontata un'analisi di questo tipo. In questa sperimentazione, l'analisi configurazionale si mostra un ottimo strumento di pianificazione finalizzato all'analisi diacronica del sistema e alla ricostruzione dell'assetto configurazionale nel tempo. Inoltre, la tecnica di *Space Syntax* si presta in modo positivo all'interpretazione della distribuzione delle attività e delle centralità all'interno della città di Milano. Ancora, l'analisi configurazionale si rivela un potenziale mezzo efficiente nel supportare il processo decisionale di alcuni provvedimenti a scala urbana, connessi in particolare al tema dell'accessibilità nel supportare la pianificazione odierna e futura di spazi pubblici.

Abstract

The configurational analysis is a theme much debated in the last years, gaining a wide audience and the recognition as a tool of urban space analysis. Multiple studies and researches have demonstrated the reliability and the innovation of the method, proving its potential in complementing more common and traditional methods of territory analysis.

In order to understand the efficiency of configurational analysis as a planning tool, this elaboration proposes an experimentation on the city of Milan. The city covers an interesting role as it has a complex structure, which is difficult to read, and has never been approached with this type of analysis. In this trial, the configurational analysis is shown as an excellent planning tool for the diachronic analysis of the system and for the reconstruction of the configurational layout over time. Furthermore, *Space Syntax* technique is positively suited for the interpretation of the distribution of activities and centralities within the city of Milan. Moreover, the configurational analysis reveals to be a possible efficient tool at supporting the decision-making process of several measures at urban scale, especially the ones linked to the theme of accessibility in supporting the present and the future planning of public spaces.

Indice

| | |
|--|-----------|
| Introduzione | 1 |
| 1 Analisi spaziale dei layout urbani | 4 |
| 1.1 Rappresentazione delle reti urbane | 5 |
| 1.1.1 Rappresentazione primale | 5 |
| 1.1.2 Rappresentazione duale | 7 |
| 1.2 Analisi configurazionale | 9 |
| 1.2.1 Principali tecniche configurazionali | 10 |
| 1.2.1.1 Axial Analysis | 12 |
| 1.2.1.2 Angular Analysis | 13 |
| 1.2.1.3 Visibility Graph Analysis | 15 |
| 1.2.2 Principali indici configurazionali: primo ordine | 16 |
| 1.2.3 Principali indici configurazionali: secondo ordine | 22 |
| 1.2.4 Paragone tra rappresentazione primale e duale | 24 |
| 1.2.5 Criticità principali e ricerche di sviluppo | 25 |
| 2 Problematica del confine di un sistema | 28 |
| 2.1 Metodi per determinare il confine | 28 |
| 2.2 Effetto del confine del sistema in Space Syntax | 30 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3 | Analisi diacronica della città di Milano | 33 |
| 3.1 | Genesi insediativa della città di Milano | 34 |
| 3.1.1 | Dai Romani alla dominazione austriaca | 34 |
| 3.1.2 | Dominazione francese | 36 |
| 3.1.3 | Dall'800 al Piano Beruto | 38 |
| 3.1.4 | Il Piano Beruto | 40 |
| 3.1.5 | Il Piano Pavia Masera | 43 |
| 3.1.6 | Il Piano Albertini | 44 |
| 3.1.7 | Piani Regolatori Generali | 47 |
| 3.1.8 | Il Piano Venanzi e il piano Regolatore Generale del 1953 | 49 |
| 3.1.9 | Dal 1953 agli anni '70 | 51 |
| 3.1.10 | Città senza regole | 52 |
| 3.1.11 | Dal Documento di Inquadramento alla Milano attuale | 52 |
| 3.2 | Applicazione dell'analisi configurazionale | 55 |
| 3.2.1 | Milano nel 1704 | 55 |
| 3.2.2 | Milano nel 1884. Piano Beruto | 60 |
| 3.2.3 | Correlazioni spaziali delle due epoche | 64 |
| 4 | Analisi configurazionale su Milano | 70 |
| 4.1 | Definizione del sistema | 71 |
| 4.2 | Analisi configurazionale: gli indici più significativi | 73 |
| 4.3 | Confronto col passato: evoluzione dell'Integration Core, centralità e multicentralità | 83 |
| 4.4 | Corrispondenza tra realtà e modello | 96 |
| 4.5 | Rapporto tra configurazioni e funzioni | 106 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5 | Space syntax: mezzo di supporto alle decisioni | 111 |
| 5.1 | L'analisi configurazionale per lo studio dell'accessibilità | 111 |
| 5.1.1 | Il concetto di accessibilità in letteratura | 112 |
| 5.1.1.1 | Accessibilità topologica | 115 |
| 5.1.2 | Accessibilità e Space Syntax | 116 |
| 5.1.2.1 | Accessibilità geometrica e indice di integrazione | 117 |
| 5.2 | Diversi scenari sulla città di Milano | 119 |
| 5.2.1 | Scenario A: accessibilità pedonale | 120 |
| 5.2.2 | Scenario B: accessibilità veicolare - localizzazione di parcheggi | 121 |
| 5.2.3 | Scenario C: accessibilità ciclabile - localizzazione di stazioni di biciclette | 125 |
| 5.2.4 | Scenario D: localizzazione delle biblioteche | 128 |
| 5.2.5 | Scenario E: ZTL | 132 |
| 5.3 | L'analisi configurazionale per lo studio della resilienza | 143 |
| 5.3.1 | Il concetto di resilienza | 143 |
| 5.3.2 | La resilienza di Milano | 145 |
| 5.3.3 | Un quartiere integrato più localmente che globalmente: l'esempio di Bovisa | 147 |
| 5.3.4 | Un quartiere integrato più globalmente che localmente: l'esempio delle 5 vie | 150 |
| | Conclusioni | 153 |
| | Appendice | 157 |

Elenco delle figure

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | <i>Rappresentazione primale.</i> | 8 |
| 1.2 | <i>Rappresentazione duale.</i> | 8 |
| 1.3 | <i>Rappresentazione in grassetto dell'elemento con indice di integrazione pari ad 1 secondo l'Axial Map (a sinistra) e nel corrispondente grafo (a destra).</i> | 18 |
| 1.4 | <i>Rappresentazione dell'elemento con indice di connettività pari ad 1 (contrassegnato con la lettera a) e quello con indice pari a N-1 (b) secondo l'Axial Map (a sinistra) e nel corrispondente grafo (a destra).</i> | 19 |
| 1.5 | <i>Rappresentazione dell'elemento con indice di scelta pari ad 0 (contrassegnato con la lettera a) e quello con indice pari a 1 (b) secondo l'Axial Map (a sinistra) e nel corrispondente grafo (a destra).</i> | 21 |
| 1.6 | <i>Rappresentazione dell'elemento con indice di controllo pari ad 1/N-1 (contrassegnato con la lettera a) e quello con indice pari a N-1 (b) secondo l'Axial Map (a sinistra) e nel corrispondente grafo (a destra).</i> | 21 |
| 2.1 | <i>Variazione delle condizioni del contorno secondo il raggio metrico (prima riga) e topologico (seconda riga) per l'area di Barnsbury.</i> | 31 |
| 2.2 | <i>Tabella con le misure calcolate cambiando il raggio metrico (Park,2009).</i> | 32 |
| 2.3 | <i>Tabella con le misure calcolate cambiando il raggio topologico (Park,2009).</i> | 32 |
| 3.1 | <i>Riproduzione della città di Milano nel 1704.</i> | 36 |
| 3.2 | <i>Carta della città di Milano del 1801 realizzata da Giacomo Pinchetti.</i> | 38 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.3 | <i>Carta della città di Milano del 1884 nel Piano Beruto.</i> | 42 |
| 3.4 | <i>Carta della città di Milano nel Piano Pavia-Masera.</i> | 44 |
| 3.5 | <i>Carta della città di Milano del 1934 del Piano Albertini.</i> | 46 |
| 3.6 | <i>Carta della città di Milano nel 1956.</i> | 50 |
| 3.7 | <i>Rappresentazione della città di Milano nel 1704 digitalizzata in AutoCAD.</i> | 56 |
| 3.8 | <i>Distribuzione dell'indice di integrazione globale sull'Axial Map di Milano alla data del 1704.</i> | 58 |
| 3.9 | <i>Distribuzione dell'indice di Choice sulla Segment Map di Milano alla data del 1704.</i> | 59 |
| 3.10 | <i>Rappresentazione del Piano Beruto nel 1884 digitalizzata in AutoCAD.</i> | 60 |
| 3.11 | <i>Distribuzione dell'indice di integrazione globale sull'Axial Map di Milano del Piano Beruto.</i> | 62 |
| 3.12 | <i>Distribuzione dell'indice di Choice sulla Segment Map di Milano del Piano Beruto.</i> | 63 |
| 3.13 | <i>Sinergia relativa alla città di Milano nel 1704. $R^2 = 0.763$.</i> | 65 |
| 3.14 | <i>Sinergia relativa alla città di Milano nel 1884. $R^2 = 0.638$.</i> | 65 |
| 3.15 | <i>Intelligibilità relativa alla città di Milano nel 1704. $R^2 = 0.545$.</i> | 66 |
| 3.16 | <i>Intelligibilità relativa alla città di Milano nel 1884. $R^2 = 0.359$.</i> | 67 |
| 3.17 | <i>Movement Interface relativa alla città di Milano nel 1704. $R^2 = 0.256$.</i> | 68 |
| 3.18 | <i>Movement Interface relativa alla città di Milano nel 1884. $R^2 = 0.243$.</i> | 68 |
| 4.1 | <i>Rappresentazione della città di Milano in AutoCAD.</i> | 73 |
| 4.2 | <i>Distribuzione dell'indice di connettività sulla città di Milano.</i> | 74 |
| 4.3 | <i>Distribuzione del numero dei nodi (assi stradali) sul valore dell'indice di integrazione.</i> | 75 |
| 4.4 | <i>Distribuzione dell'indice di integrazione globale sulla città di Milano.</i> | 76 |
| 4.5 | <i>Correlazione tra gli indici configurazionali di integrazione e connettività sulla città di Milano. $R^2 = 0.252$.</i> | 77 |
| 4.6 | <i>Distribuzione dell'indice di Choice sull'Axial Map della città di Milano.</i> | 78 |
| 4.7 | <i>Distribuzione dell'indice di Choice sulla Segment Map della città di Milano.</i> | 79 |

| | | |
|------|---|-----|
| 4.8 | <i>Correlazione tra gli indici configurazionali di Integration e Choice sulla città di Milano. $R^2 = 0.081$.</i> | 80 |
| 4.9 | <i>Legame esponenziale tra gli indici configurazionali di integrazione e di connettività. $R^2 = 0.341$.</i> | 81 |
| 4.10 | <i>Correlazione tra gli indici configurazionali di integrazione globale e integrazione locale sulla città di Milano. $R^2 = 0.596$.</i> | 82 |
| 4.11 | <i>Grafico radar: evoluzione degli indici configurazionali sulla città di Milano.</i> | 84 |
| 4.12 | <i>Forme dell'Integration Core individuate da Bill Hillier.</i> | 85 |
| 4.13 | <i>Identificazione dell'Integration Core nella città di Milano al 1704.</i> | 87 |
| 4.14 | <i>Identificazione dell'Integration Core nella città di Milano al 1884.</i> | 88 |
| 4.15 | <i>Identificazione degli Integration Cores di Milano.</i> | 90 |
| 4.16 | <i>Identificazione dei centri urbani della città di Milano sulla mappa dell'indice di integrazione globale.</i> | 91 |
| 4.17 | <i>Distribuzione dell'indice di integrazione locale sulla città di Milano.</i> | 92 |
| 4.18 | <i>Suddivisione della città di Milano in NIL.</i> | 94 |
| 4.19 | <i>Sovrapposizione della suddivisione in NIL della città sull'Axial Map di Milano e mappa base.</i> | 99 |
| 4.20 | <i>Correlazione tra il valore di integrazione globale e la densità di unità locali, considerate secondo le aree e calcolate per gli specifici NIL corrispondenti alle centralità urbane individuate attraverso l'analisi configurazionale. $R^2 = 0,09$ nel legame lineare; $R^2 = 0,10$ nel legame esponenziale.</i> | 101 |
| 4.21 | <i>Correlazione tra il valore di integrazione globale e la densità di unità locali considerando il numero della lines costituenti i NIL corrispondenti alle centralità urbane individuate attraverso l'analisi configurazionale. $R^2 = 0.141$.</i> | 102 |
| 4.22 | <i>Correlazione tra integrazione globale e densità delle attività sul campionamento sulla città di Milano. $R^2 = 0.657$.</i> | 104 |
| 4.23 | <i>Correlazione tra integrazione locale e densità delle attività sul campionamento sulla città di Milano. $R^2 = 0.534$.</i> | 104 |

| | | |
|------|---|-----|
| 4.24 | <i>Correlazione tra integrazione globale e i valori medi della densità di attività sui 10 raggruppamenti degli elementi del campione. $R^2 = 0.903$.</i> | 105 |
| 4.25 | <i>Correlazione tra integrazione locale e i valori medi della densità di attività sui 10 raggruppamenti degli elementi del campione. $R^2 = 0.862$.</i> | 106 |
| 4.26 | <i>Stazioni ferroviarie e linee metropolitane della città di Milano sull'Axial Map.</i> | 108 |
| 4.27 | <i>Sedi delle università della città di Milano sull'Axial Map.</i> | 110 |
| 5.1 | <i>Accessibilità pedonale: distribuzione dell'indice di integrazione sulla Segment Map di Milano con raggio metrico pari a 1000 metri.</i> | 121 |
| 5.2 | <i>Principali modifiche del dato in ingresso per valutare l'approccio dell'accessibilità veicolare.</i> | 122 |
| 5.3 | <i>Localizzazione dei parcheggi di interscambio attraverso la distribuzione dell'indice di integrazione globale sulla città di Milano.</i> | 123 |
| 5.4 | <i>Localizzazione dei parcheggi: esistenti e proposti attraverso Space Syntax.</i> | 124 |
| 5.5 | <i>Accessibilità ciclabile: distribuzione dell'indice di integrazione sulla Segment Map di Milano con raggio metrico pari a 5000 metri.</i> | 126 |
| 5.6 | <i>Accessibilità ciclabile: distribuzione dell'indice di Choice sulla Segment Map di Milano con raggio metrico pari a 5000 metri.</i> | 127 |
| 5.7 | <i>Operazione «Select by expression» su QGIS per individuare le strade con bassi valori dell'indice di Choice e alti dell'indice di Integration.</i> | 129 |
| 5.8 | <i>Localizzazione delle biblioteche attraverso una selezione di tipo algebrica sugli indici configurazionali.</i> | 130 |
| 5.9 | <i>Localizzazione delle biblioteche: esistenti e proposte attraverso Space Syntax.</i> | 132 |
| 5.10 | <i>Area C di Milano (mappa del Comune di Milano).</i> | 133 |
| 5.11 | <i>Mappa di Milano priva dell'Area C.</i> | 135 |
| 5.12 | <i>Distribuzione dell'indice di Integration sulla città di Milano priva dell'Area C.</i> | 136 |
| 5.13 | <i>Distribuzione dell'indice di Choice sulla città di Milano priva dell'Area C.</i> | 137 |
| 5.14 | <i>Distribuzione dell'indice di Integration sulla città di Milano priva della ztl dei Navigli.</i> | 138 |

| | | |
|------|--|-----|
| 5.15 | <i>Distribuzione dell'indice di Choice sulla città di Milano priva della ztl dei Navigli. . .</i> | 139 |
| 5.16 | <i>Distribuzione dell'indice di Integration sulla città di Milano priva delle ztl, Area C e I Navigli.</i> | 140 |
| 5.17 | <i>Distribuzione dell'indice di Choice sulla città di Milano priva delle ztl, Area C e I Navigli.</i> | 141 |
| 5.18 | <i>Correlazione lineare tra gli indici di integrazione globale e locale (a sinistra) e tra gli indici di integrazione globale e connettività (a destra) dello Scenario 0.</i> | 142 |
| 5.19 | <i>Correlazione lineare tra gli indici di integrazione globale e locale (a sinistra) e tra gli indici di integrazione globale e connettività (a destra) dello Scenario 1.</i> | 142 |
| 5.20 | <i>Correlazione lineare tra gli indici di integrazione globale e locale (a sinistra) e tra gli indici di integrazione globale e connettività (a destra) dello Scenario 2.</i> | 142 |
| 5.21 | <i>Correlazione lineare tra gli indici di integrazione globale e locale (a sinistra) e tra gli indici di integrazione globale e connettività (a destra) dello Scenario 3.</i> | 143 |
| 5.22 | <i>Axial Map della città di Milano in cui l'asse di Porta Romana e parte di Corso Lodi è rimosso con uno zoom sulla zona interessata.</i> | 147 |
| 5.23 | <i>Selezione dei punti ben integrati localmente e meno globalmente, nello scatter plot in rosso (a sinistra) e le corrispondenti vie sulla mappa in giallo (a destra)</i> | 148 |
| 5.24 | <i>Zoom sul centro di Milano caratterizzato dai valori di integrazione globale (a sinistra) e locale (a destra).</i> | 151 |
| A.1 | <i>Rappresentazione della griglia urbana di Philadelphia da satellite (a sinistra) e mappa dei percorsi (a destra).</i> | 158 |
| A.2 | <i>Rappresentazione dell'indice di integrazione globale sulla griglia urbana di Philadelphia (a sinistra) e grafico della sinergia del suo pattern urbano, $R^2 = 0,92$ (a destra).</i> | 159 |
| A.3 | <i>Grafico dell'intelligibilità del pattern urbano di Philadelphia, $R^2 = 0,80$ (a sinistra) e di movement interface, $R^2 = 0,69$ (a destra).</i> | 159 |
| A.4 | <i>Rappresentazione della griglia urbana di Ex En Provence da satellite (a sinistra) e mappa dei percorsi (a destra).</i> | 160 |
| A.5 | <i>Rappresentazione dell'indice di integrazione globale sulla griglia urbana di Ex En Provence (a sinistra) e grafico della sinergia del suo pattern urbano, $R^2 = 0,76$ (a destra).</i> | 161 |

| | | |
|------|---|-----|
| A.6 | <i>Grafico dell'intelligibilità del pattern urbano di Ex En Provence, $R^2 = 0,41$ (a sinistra) e di movement interface, $R^2 = 0,40$ (a destra).</i> | 161 |
| A.7 | <i>Rappresentazione della griglia urbana di Bologna da satellite (a sinistra) e mappa dei percorsi (a destra)</i> | 162 |
| A.8 | <i>Rappresentazione dell'indice di integrazione globale sulla griglia urbana di Bologna (a sinistra) e grafico della sinergia del suo pattern urbano, $R^2 = 0,35$ (a destra).</i> | 163 |
| A.9 | <i>Grafico dell'intelligibilità del pattern urbano di Bologna, $R^2 = 0,11$ (a sinistra) e di movement interface, $R^2 = 0,25$ (a destra).</i> | 163 |
| A.10 | <i>Visualizzazione dei GCP sulla Axial Map in QGIS.</i> | 172 |
| A.11 | <i>Finestra di lavoro dello strumento Attribute explorer di Space Syntax Toolkit in QGIS.</i> | 174 |

Elenco delle tabelle

| | | |
|-----|---|-----|
| 4.1 | <i>Corrispondenza tra Integration Cores e NIL.</i> | 99 |
| 4.2 | <i>Valore medio dell'indice di integrazione e la densità delle unità locali per ogni centralità il cui perimetro è definito dal NIL corrispondente.</i> | 100 |
| 4.3 | <i>Tabella del campionamento di 30 lines distribuite su tutto il territorio comunale di Milano, da quelle più integrate a quelle più segregate.</i> | 103 |

Introduzione

Questo lavoro di tesi rappresenta un contributo di ricerca e sperimentazione che mira a comprendere l'efficienza dell'approccio configurazionale nella pianificazione a livello urbano; questo attraverso prima un'attenta ricerca in letteratura della teoria configurazionale e poi tramite un'implementazione del metodo sulla città di Milano.

La ricerca esposta in questa tesi si colloca all'interno degli studi finalizzati a sviluppare strumenti di supporto decisionale per la pianificazione urbana. In particolare il lavoro che verrà presentato porta un contributo all'analisi spaziale di un territorio, alla sua ricostruzione nel tempo, alla gestione dei flussi al suo interno e alla localizzazione di alcuni servizi di stampo pubblico. La maggior parte delle ricerche di strategie pianificatorie di una città resta vincolata ad una visione tradizionale e classica del territorio e dell'analisi di questo; il lavoro qui presentato propone un contributo originale ad un nuovo tipo di approccio della pianificazione e della gestione dei servizi di una città.

Il volume è diviso in quattro parti.

Nella prima parte (capitoli 1-2) si esaminano alcune possibili rappresentazioni dei layout urbani e dei metodi per analizzarli. Il primo capitolo è dedicato alla descrizione delle possibili rappresentazioni delle reti urbane, primale e duale. Della prima si riportano gli indicatori principali su cui si basa, ma il resto del capitolo si concentra sulla presentazione del metodo utilizzato in questo lavoro, l'analisi configurazionale. Viene

introdotto il metodo innovativo *Space Syntax*, nato in ambito anglosassone e utilizzato in differenti città nel mondo ma che fino ad ora non ha avuto una grande diffusione in Italia. In questa parte è descritta *Space Syntax* come teoria e metodologia per l'analisi spaziale di sistemi complessi. Si presenta il modello concettuale basato sul concetto di configurazione e se ne illustrano le idee fondamentali, le tecniche operative e gli indici di calcolo, riportando alcuni esempi semplificativi per facilitarne la comprensione. Un capitolo intero, il secondo, è finalizzato all'inquadramento della problematica del confine e alla breve descrizione di alcuni possibili metodi per definirlo attraverso la tecnica configurazionale.

Dalla seconda parte in poi vengono presentate le diverse implementazioni di *Space Syntax* sul caso studio che è stato scelto come campo di applicazione della metodologia, la città di Milano.

La seconda parte (capitolo 3) illustra l'analisi diacronica della città: si studia la genesi insediativa della città di Milano partendo dai Romani fino alle decisioni pianificatorie degli ultimi anni, passando per i Piani di Governo che hanno maggiormente influenzato e deciso l'assetto strutturale della città. Dopo aver navigato nella storia della pianificazione milanese, si selezionano due date rilevanti in termini di analisi spaziale: la prima in corrispondenza di una delle prime rappresentazioni cartografiche della città di Milano, 1704, e la seconda in corrispondenza dell'emanazione del Piano Beruto, 1884, decisivo nella forma della città. Di ognuna, si presenta l'analisi spaziale condotta tramite *Space Syntax*.

Il capitolo 4, la terza parte, si focalizza sulla griglia urbana milanese aggiornata ai giorni d'oggi. Su questa si conduce, nella prima parte del capitolo, l'analisi configurazionale calcolando i diversi indici e si confrontano i risultati qui ottenuti con quelli del capitolo precedente; in questo modo è possibile apprezzare l'evoluzione del concetto di centralità, passando da un singolo centro urbano ad una multicentralità. Questo studio viene affrontato in termini operativi tramite l'identificazione degli *Integration Cores*, e trova riscontro nelle linee guida del Piano del Governo del Territorio di Milano. Nella seconda parte del capitolo, si è voluto verificare che i risultati forniti da *Space Syntax* rispecchiano la realtà e si è studiato quale tipo di correlazione sussiste.

Nella quarta e ultima parte (capitolo 5) viene descritta e dimostrata la capacità di *Space Syntax* di supportare decisioni di pianificazione urbana. La prima parte esamina il tema dell'accessibilità, di importanza primaria nella pianificazione, prima spiegando-

ne il concetto teorico e poi affrontandolo in diversi casi applicativi. Si viaggia nella letteratura in cerca dei diversi approcci all'accessibilità e se ne mostrano i più utilizzati; successivamente viene fornita la chiave di lettura di questa ricerca in quanto si chiarisce il nesso esistente tra il concetto di accessibilità e il significato dell'indice configurazionale, *Integration*, utilizzato in questo scopo. Una volta introdotta la base per lo studio dell'accessibilità, si descrivono diversi casi applicativi suddivisi in scenari in cui si affrontano possibili problematiche che coinvolgono la città di Milano. Nello specifico, si analizzano diversi tipi di accessibilità, pedonale, ciclabile e veicolare; si propongono possibili soluzioni alla pianificazione della localizzazione di alcuni servizi pubblici; si studiano differenti forme delle zone a traffico limitato e le loro perimetrazioni all'interno della città. In ogni scenario vengono analizzati gli indici configurazionali più importanti e idonei a seconda del caso e gli effetti in termini configurazionali, riportando sempre la corrispondenza con la realtà. La seconda parte del capitolo affronta, invece, il tema della resilienza: viene spiegato il concetto teorico di questa e viene poi illustrato come la resilienza possa essere analizzata tramite l'approccio configurazionale modificando l'assetto strutturale della città e interpretando alcune specifiche informazioni fornite da *Space Syntax* sotto questa luce.

Capitolo 1

Analisi spaziale dei layout urbani

“For the human mind, the tree is the easiest vehicle for complex thoughts. But the city is not, cannot, and must not be a tree. The city is a receptacle for life. If the receptacle severs the overlap of the strands of life within it, because it is a tree, it will be like a bowl full of razor blades on edge, ready to cut up whatever is entrusted to it. In such a receptacle life will be cut to pieces. If we make cities which are trees, they will cut our life within to pieces.“

Christopher Alexander, A City Is Not a Tree (1965)

Le parole riportate sopra, tratte da una delle pubblicazioni del noto architetto austriaco Christopher Alexander, evidenziano una critica all’approccio teorico della rappresentazione dei layout urbani. Le strutture di griglia e albero rappresentano due schemi differenti di pensiero presenti nella letteratura classica della pianificazione; nei modelli urbani le loro proprietà spaziali sono però molto diverse.

In questo capitolo si vuole fornire un quadro di quali sono le principali rappresentazioni dei layout urbani, soffermandosi in particolare su quella che sarà adottata in questo lavoro.

1.1 Rappresentazione delle reti urbane

La rappresentazione delle reti urbane ha da sempre ricevuto una notevole importanza in ambito urbanistico e geografico. Fin dagli inizi degli anni '60, la creazione dei modelli del suolo e del flusso di traffico sulla base di caratteristiche topologiche e geometriche dei canali di comunicazione di una città è stato oggetto di molti studi e ricerche.

Uno degli approcci più diffusi nel rappresentare le reti urbane si basa sulla descrizione delle relazioni che si instaurano fra i vari elementi che costituiscono la rete attraverso un grafo.

Un grafo è una struttura relazionale composta da un insieme finito di oggetti, detti nodi o vertici, e da un insieme di relazioni tra coppie di oggetti, detti archi o collegamenti. Da un punto di vista matematico, una possibile notazione per definirlo è $G = (N, K)$ dove N indica l'insieme degli elementi e K l'insieme degli elementi contenenti paia non ordinate di nodi. L'importanza di questa struttura logica è da attribuire alla constatazione che più di una struttura reale può essere schematizzata utilizzando i grafi, come appunto la rete stradale.

Un arco tra due nodi i e j viene indicato con (i, j) e i due nodi sono detti adiacenti o connessi; secondo questa proprietà un grafo G può essere descritto dalla matrice di adiacenza $A = \{a_{ij}\}$, $N \times N$, quadrata e i cui elementi a_{ij} sono pari a 1 quando (i, j) appartiene a K e a zero se altrimenti. Oltre alla matrice di adiacenza, si può rappresentare la matrice dei pesi W che contiene i pesi per ogni arco [Porta et al, 2006a].

Le principali rappresentazioni che si rifanno all'utilizzo del grafo per descrivere la griglia urbana possono essere classificate in rappresentazioni primali e rappresentazioni duali; nei due casi gli elementi N e K del grafo hanno un preciso riferimento reale all'interno del pattern urbano e un diverso significato geometrico.

1.1.1 Rappresentazione primale

Uno degli approcci alla descrizione delle reti stradali più semplice e intuitivo consiste nel rappresentare la rete con un grafo i cui archi rappresentano le strade e i cui vertici rappresentano le intersezioni tra le strade o i punti terminali. Questo grafo è chiamato rappresentazione primale. Esso ha preso subito il primo piano nelle implementazioni

delle *network analysis* in campo territoriale per via della sua modalità semplice di associare a ogni arco una delle componenti delle dimensioni geografiche più utilizzata, la distanza, dopo aver definito gli spazi come punti e le relazioni tra questi come archi. Con questa premessa, la matrice W dei pesi viene sostituita dalla matrice delle lunghezze $L = \{l_{ij}\}$, $N \times N$, e i cui elementi l_{ij} rappresentano la distanza metrica associata alla strada che connette i con j , cioè una quantità inversamente proporzionale al peso associato all'arco. Adottando tale rappresentazione è possibile svolgere diverse analisi di tipo quantitativo utili ad indagare le relazioni tra i vari elementi della griglia [Porta et al, 2006c].

I principali indicatori di questo tipo di approccio si basano su quelli definiti da Freeman sulla centralità (Freeman, 1977), considerati classici nella letteratura scientifica: centralità di grado (*degree*, C^D), vicinanza (*closeness*, C^C), medietà (*betweenness*, C^B).

Degree

La centralità di grado esprime il concetto che un nodo è tanto più importante quanto maggiore è il numero di archi che vi convergono. Il grado di un nodo i è il numero di archi incidenti in esso ed è definito in termini della matrice di adiacenza come $k_i = \sum_j a_{ij}$; la centralità di grado del nodo i è esprimibile come:

$$C_i^D = \frac{k_i}{N-1}$$

in forma normalizzata per cui è pari ad 1 quando il nodo i è connesso a tutti gli altri nodi j del grafo.

Closeness

La centralità di vicinanza è basata sulla nozione di percorso minimo, chiamato d_{ij} e definito come la somma minima delle lunghezze degli archi attraverso tutti i possibili percorsi del grafo che connettono i e j ; è esprimibile attraverso questa formula:

$$C_i^C = \frac{N-1}{\sum_j d_{ij}}$$

Betweenness

La centralità di medietà si basa sul concetto che le interazioni tra due nodi non adiacenti siano dipendenti dai nodi intermedi che possono avere uno specifico ruolo di influenza su di essi; ciò significa che un nodo risulta centrale se è posizionato tra altri elementi. Questa idea può essere semplificata limitandola ai percorsi minimi: i nodi che hanno un'alta probabilità di localizzarsi lungo uno dei percorsi minimi tra due nodi presentano un valore alto di questo indice. In termini formali, chiamato n_{jk} il numero dei percorsi minimi tra i nodi j e k , e $n_{jk}(i)$ il numero dei percorsi minimi tra i nodi j e k ma che passano per il nodo i , l'indice in questione è calcolato come:

$$C_i^B = \frac{1}{(N-1)(N-2)} \sum_{j,k} \frac{n_{jk}(i)}{n_{jk}}$$

il cui valore varia tra 0 e 1 ed assume il valore massimo quando $n_{jk} = n_{jk}(i)$ se il nodo i è presente in tutti i percorsi minimi tra j e k .

1.1.2 Rappresentazione duale

Mentre nella rappresentazione primale gli archi di un grafo rappresentano le strade e i suoi vertici le intersezioni tra esse, nella rappresentazione duale avviene esattamente il contrario: gli archi rappresentano le intersezioni e i vertici, invece, le strade. Questa tipologia di grafo è infatti così illustrata nel manuale di *Space Syntax*: «The graph G will consist of two sets of information; graph vertices (representing axial lines) $V = \{V_1, V_2...V_n\}$, and a set of lines $L = \{L_1, L_2...L_n\}$, each line in the graph G represents an intersection between two axial lines (two vertices) in the spatial network» [Hillier et al, 2014].

In questo tipo di approccio le caratteristiche della struttura urbana su cui si basano i calcoli dei diversi indici non sono più fisiche, come nella rappresentazione primale, ma sono caratteristiche topologiche; ne consegue che non importa conoscere la lunghezza metrica delle strade né la distanza euclidea fra esse in quanto sono mappate come nodi. La costruzione di questo tipo di rappresentazione consiste in due differenti fasi: la prima consiste nel disegnare il modello primario della griglia urbana, la seconda prevede la costruzione del grafo duale a seconda dell'importanza che i tratti stradali assumono

all'interno della griglia stessa. L'applicazione della prima fase può avvenire in diversi modi, in questo lavoro di tesi ci si appoggia al metodo che verrà poi utilizzato, ossia l'approccio configurazionale, in cui il modello primale è rappresentato dall'*Axial Map* costituita da spazi rettilinei (mappati come *lines*). Nella seconda fase il singolo elemento rettilineo, *line*, viene identificato da un nodo e l'intersezione tra due spazi rettilinei viene rappresentata da un arco [Porta et al, 2006a].

Per facilitare la comprensione del significato dei due tipi di rappresentazione dei layout urbani, si riporta in Figura 1.1 (da Porta et al, 2006a) l'esempio che raffigura il processo di discretizzazione nel caso si scelga di adottare l'approccio primale o un tipo di approccio duale, quello *Space Syntax* in Figura 1.2, della stessa struttura urbana di esempio: la prima colonna riporta l'ingombro al suolo della porzione di territorio d'esempio, la seconda il disegno del modello primale della griglia urbana (prima fase) e nella terza colonna è illustrato il grafo attraverso cui si eseguono i calcoli dei vari indici (seconda fase).

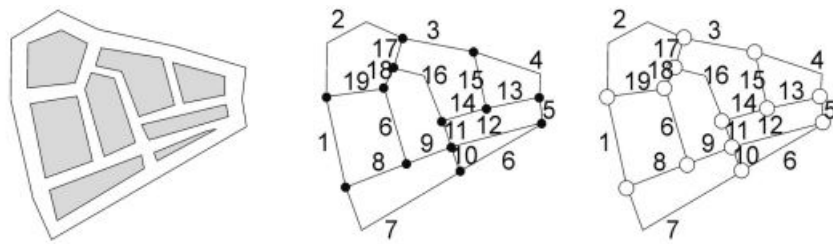


Figura 1.1: Rappresentazione primale.

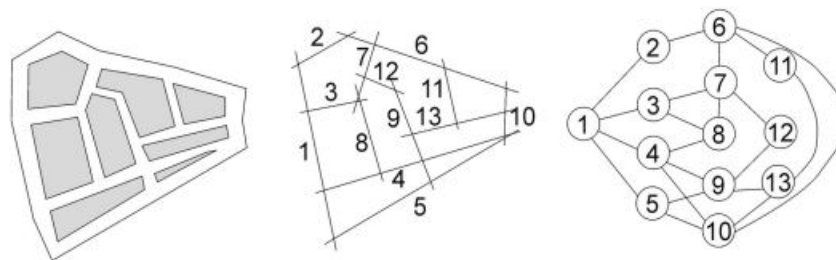


Figura 1.2: Rappresentazione duale.

1.2 Analisi configurazionale

L'analisi configurazionale viene introdotta per la prima volta da Bil Hillier e Julienne Hanson presso The Bartlett, University College London con il nome di *Space Syntax* nel 1976.

L'analisi configurazionale viene ideata originariamente con lo scopo di analizzare gli spazi aperti di una griglia urbana attraverso le relazioni che si instaurano tra loro. Allo spazio fisico della città non vengono attribuite proprietà di tipo geometrico, come accade nelle analisi puramente quantitative tradizionali, ma le proprietà considerate sono quelle topologiche e relazionali. In *Space Syntax* quindi gli spazi sono interpretati come vuoti (strade, piazze, ecc.). Questi vuoti sono definiti da quelle barriere che ne ostacolano l'accesso o la visione (come muri molto alti, ringhiere e altri tipi di barriere fisiche). In quest'ottica le città vengono definite come un insieme di edifici e strutture collegate tra loro e disegnate come una griglia [Hillier et al, 2014].

L'aspetto fondamentale da sottolineare è l'assunzione su cui si basa l'analisi configurazionale: la griglia dei percorsi che attraversano l'insediamento urbano viene definita come la matrice primaria da cui deriva lo svolgimento delle attività che avvengono al suo interno. Grazie a questa ipotesi fondamentale, *Space Syntax* offre la possibilità di trarre risultati molto interessanti sulla descrizione di questi fenomeni dalle analisi di tipo configurazionale della griglia urbana, fungendo, così, da potenziale strumento di pianificazione e gestione di progetti urbanistici.

Mentre nella modellistica territoriale classica lo spazio della città viene relegato sul fondo della scena, nell'approccio configurazionale lo spazio assume un ruolo di primo piano in quanto la distribuzione delle attività sociali ed economiche dipende in primo luogo dall'assetto spaziale della città stessa; l'oggetto di studio di *Space Syntax* è quindi l'insieme delle relazioni spaziali che intercorrono tra ogni singolo elemento materiale che costituisce la griglia urbana.

La teoria configurazionale può essere definita da quattro caratteristiche fondamentali:

- l'interesse rilevante delle relazioni spaziali che vi sono tra gli elementi che costituiscono la griglia, ossia gli spazi urbani vuoti e non edificati. La griglia urbana rappresenta quindi la struttura dello spazio la cui valenza è definita dalle relazio-

ni spaziali che intercorrono tra gli elementi essenziali della griglia, ossia gli spazi aperti e fruibili senza vincoli;

- l'ipotesi dello spazio in veste di matrice primaria dei processi insediativi in quanto punto di incontro tra la struttura fisica della città e la struttura sociale della città stessa, la prima costituita dal complesso di edifici e dalle strade, mentre la seconda definita dalle attività presenti al suo interno;
- l'ipotesi dello spazio in veste di matrice primaria del movimento naturale, ossia quel movimento dovuto alla struttura della griglia e che differisce dal movimento attratto dovuto, invece, alla presenza di determinate attività in specifici luoghi;
- il ruolo essenziale della percezione visiva dello spazio come motore del movimento del singolo utente all'interno della griglia urbana; è proprio dalla dimensione percettiva dello spazio urbano su cui basa l'analisi configurazionale che deriva l'approccio topologico di questo tipo di studio [Cutini et al. 2004].

I due punti intermedi si basano sull'idea che lo spazio è la «precondizione» di ogni fenomeno: ogni sua particolare disposizione produce una deformazione topologica tale da far scaturire di conseguenza il movimento dell'utente e la localizzazione di attività. L'ultima proprietà dell'analisi configurazionale, invece, ricorda concetti relativi alla Psicologia della Forma in quanto la percezione dello spazio urbano del singolo individuo determina il suo movimento all'interno di esso. Il passaggio dal piano percettivo a quello sintattico avviene attraverso quelle che vengono chiamate tecniche configurazionali.

1.2.1 Principali tecniche configurazionali

Di fondamentale importanza è definire cosa si intende per griglia urbana e come si può identificarla da un insediamento urbano. Per griglia urbana si intende lo spazio pubblico urbano costituito dai percorsi e dagli spazi praticabili senza limitazioni da parte di un qualsiasi utente al suo interno. Il metodo di identificazione della griglia definisce le diverse tecniche configurazionali.

Utilizzare una determinata tecnica configurazionale significa definire gli elementi discreti attraverso i quali si intende affrontare la decifrazione dello spazio; quest'ultimo quindi è discretizzato e reso un insieme finito di tali elementi diventando una griglia o rete. In

questo modo si passa da un sistema di flussi continui di spazi ad un insieme di elementi discreti appunto, a cui sono associati determinati valori che corrispondono alle variabili di stato. Queste ultime sono gli indici configurazionali che verranno ampiamente illustrati nel paragrafo successivo.

Nel processo di discretizzazione della griglia urbana bisogna definire due importanti relazioni che caratterizzano ogni singolo elemento della stessa:

- relazione di appartenenza: consente di determinare se un elemento fa parte o meno di una data griglia di elementi. Dato un elemento i appartenente ad una griglia chiamata I e dato un elemento j appartenente ad una griglia detta J , la relazione di appartenenza che intercorre è esprimibile come:

$$i \text{ è connesso con } j \text{ per ogni } j \in J \Leftrightarrow i \in J.$$

In questo caso la connessione è definita dalla intersezione tra gli elementi. Tramite questo tipo di relazione solamente gli spazi convessi di una certa griglia che possono essere percepibili visivamente da almeno un altro spazio della griglia stessa vengono apprezzati come elementi interni del sistema; in altri termini, i vuoti urbani rappresentano gli elementi della griglia mentre i pieni urbani, ossia gli spazi inaccessibili e quelli costituiti dagli edifici, sono esclusi dal sistema. La relazione di appartenenza individua concretamente il limite del sistema, chiudendolo verso l'esterno;

- relazione di struttura: consiste nell'associare agli elementi costituenti la griglia un valore di «profondità», definito come il numero di elementi discreti che separa due elementi presi in considerazione. La profondità tra l'elemento i e j è esprimibile come:

$$p_{ij} = p_{ji} = \text{numero di elementi interposti} + 1 = \text{numero di cambi di direzione} \\ \text{con } i \neq j \text{ e } p_{ij} \in [1; N] \text{ in cui } N = \text{numero di elementi della griglia.}$$

Come si evince dalla formula, questo tipo di relazione non è la misura metrica della distanza tra due elementi ma è la misura topologica della distanza tra

essi, ossia il numero di elementi interposti tra i due per i quali si vuole calcolare la distanza. Questo tipo di misura dipende quindi dal numero di cambi di direzione e di prospettiva visuale che si susseguono per muoversi dall'elemento i a quello j .

Finora si sono sviluppati due modi differenti di interpretazione dei fenomeni insediativi che si rifanno a tre tipi diversi di discretizzazione dello spazio: la *Linear Analysis*, che si ramifica in *Axial Analysis* e *Angular Analysis*, e la *Visibility Analysis*.

1.2.1.1 Axial Analysis

La *Axial Analysis* (Hillier, Hanson, 1984) è il tipo di analisi configurazionale più tradizionale fra tutte ed è condotta mediante la costruzione del complesso dei segmenti di massima estensione che consentono di coprire la totalità degli spazi convessi della griglia nel loro minor numero possibile. In questo sistema l'elemento spaziale è il singolo segmento detto *axial line* e come relazione di sistema la reciproca intersezione fra tali *lines*. La griglia così discretizzata è costituita da un insieme di linee che collegano spazi convessi differenti e racchiudono l'intero sistema insediativo in una trama di tracciati visivi attraverso cui lo spazio è percepito e interpretato dal singolo utente. Lo spazio convesso, detto *convex map*, è inteso come il luogo dei punti che si trovano in condizione di mutua visibilità, dove ogni punto è visibile da ogni altro punto del suo interno; di conseguenza solamente gli spazi convessi che risultano visivamente percepibili da almeno un altro spazio della città possono essere considerati come elementi discreti della griglia urbana. Ciascuna *line* non si identifica quindi in misure geometriche ma rappresenta la linea di vista con cui l'utente percepisce lo spazio urbano e si concretizza in un tracciato lungo il quale avviene lo spostamento, composto da una sequenza di tratti rettilinei: nell'*Axial Map* le *lines* coincidono grossolanamente con il tessuto stradale della città.

Attraverso l'*Axial Map* la griglia urbana è resa un sistema discreto di elementi; al fine di calcolare quelli che sono gli indici configurazionali è necessario chiudere il sistema verso l'esterno considerando solo quei segmenti che si intersecano tra loro e soddisfacendo quindi il primo tipo di relazione, sopra definito. La definizione del secondo tipo invece, la relazione di struttura, si basa sulle intersezioni tra i vari segmenti e consiste nel calcolare la profondità tra le diverse *lines*; attraverso queste relazioni di struttura si possono definire una serie di indici configurazionali.

Al fine di rendere l'*Axial Map* maggiormente prossima alla realtà, recenti studi hanno permesso la trasformazione di questo tipo di mappa in un'altra chiamata *Segment Map*, in cui ogni *line* viene spezzata in tanti segmenti quante sono le intersezioni della *line* in esame con le altre. La *Segment Analysis* nasce quindi con lo scopo di applicare le misure dell'*Axial Analysis* alle strade reali, così come vengono rappresentate nei grafi primari [Dhanani et al, 2012]. In questo tipo di analisi i valori degli indici configurazionali non rimangono costanti sull'intera *line* ma variano per ogni segmento a seconda delle sue proprietà topologiche e configurazionali. Un ostacolo che però si incontra così facendo riguarda in particolar modo quelle *lines* dritte che vengono spezzate in più segmenti, lungo cui quindi il numero di segmenti coinvolti in un determinato percorso aumenta nonostante non ci siano svolte o cambi di direzione; una possibile soluzione a questo problema è rappresentata dall'*Angular Segment Analysis*; prima di tutto però, viene illustrata la semplice *Angular Analysis*.

1.2.1.2 Angular Analysis

L'*Angular Analysis* si differenzia dalla *Axial Analysis* poiché si basa su un modello che prende in considerazione l'angolo di intersezione delle *axial lines*.

L'*Angular Analysis* è una tecnica configurazionale che è stata formulata da Turner (2001) e basa l'attribuzione dei diversi indici in relazione all'angolo di incidenza delle linee che si intersecano. Questa tecnica operativa, infatti, viene sviluppata con l'obiettivo di aggiungere l'informazione della variabilità della direzione del percorso del singolo utente attraverso l'angolo di incidenza tra gli elementi lineari della mappa in quanto si basa sull'assunzione che sia l'angolo di svolta, oltre alle linee di percezione visiva, a guidare il movimento degli individui all'interno della griglia urbana. Infatti, la misura principale nell'*Axial Analysis* è calcolata secondo il numero di svolte dall'elemento A a quello B (la profondità, successivamente spiegata) considerando uguali tutte le svolte, che siano di 1 o di 90 gradi; questo non accade nella *Angular Analysis*. Data per certa l'assunzione che ci sia una forte correlazione tra l'indice di integrazione (calcolato secondo la misura di profondità) e il movimento degli utenti, Turner introduce questa nuova tecnica attraverso dei passaggi matematici, di cui si riportano i concetti fondamentali.

In un sistema urbano, discretizzato in un grafo, il numero di percorsi che partono da un elemento j e finiscono in qualsiasi altro elemento (quindi a qualsiasi profondità) può

essere descritto secondo una distribuzione di Poisson, una distribuzione di probabilità discreta che indica, in questo caso, le alternative del valore di profondità; l'espressione sottostante mostra «this approximation of the Poisson distribution giving the width ν of the graph at depth d » [Turner, 2001]:

$$\nu = \xi^d$$

Se N utenti si spostano da un luogo A verso altri luoghi all'interno di un sistema, come si distribuiscono in questo? Indicata come L_A la profondità che parte dal nodo A, il gruppo di N persone può essere suddiviso in ν insiemi (possibili alternative di percorsi):

$$N = k\nu = k\xi^{L_A}$$

Imponendo il logaritmo su entrambi i lati dell'espressione si ha:

$$\ln N = \ln k \xi^{L_A} = \ln k + L_A \ln \xi \Rightarrow \ln k = \ln N - L_A \ln \xi$$

il logaritmo del numero di persone $k < N$ è proporzionale ad una costante (il logaritmo del numero totale di utenti presenti nel sistema, N) diminuita del valore medio della profondità. Se si inverte il valore medio della profondità, il logaritmo di k è proporzionale ad una costante sommata ad uno specifico valore, detto indice di integrazione (questo concetto verrà illustrato nei paragrafi successivi dedicati agli indici configurazionali). Questo discorso è applicato all'*Angular Graph* in cui la probabilità di giungere ad un determinato elemento è dettata dalla grandezza degli angoli di incidenza tra più elementi che si susseguono lungo il percorso; i passaggi matematici non vengono qui riportati.

A livello operativo, viene assegnato un «costo», chiamato *angular step depth*, ad ogni tipo di svolta a seconda dell'angolo di incidenza tra i segmenti attraverso cui si passa; il valore di questo peso è solitamente riferito a questo tipo di approssimazione (in particolare nella *Tulip Analysis*, descritta nell'Appendice):

- angolo di incidenza $< 22,5^\circ \Rightarrow 0$;
- $22,5^\circ < \text{angolo di incidenza} < 67,5^\circ \Rightarrow 0,5$ (l'angolo approssimato a 45°);
- $67,5^\circ < \text{angolo di incidenza} < 112,5^\circ \Rightarrow 1$ (l'angolo approssimato a 90°);

- $112,5^\circ < \text{angolo di incidenza} < 157,5^\circ \Rightarrow 1,5$ (l'angolo approssimato a 135°);
- $157,5^\circ < \text{angolo di incidenza} < 202,5^\circ \Rightarrow 2$ (l'angolo approssimato a 180°).

Come anticipato precedentemente, un tipo di *Angular Analysis* fornisce la soluzione al problema di avvicinare l'*Axial Map* ai grafi stradali reali. L'*Angular Segment Analysis* considera i segmenti in cui viene spezzata ogni *line* ma, in più rispetto alla *Segment Analysis*, tiene conto degli angoli in corrispondenza delle loro intersezioni: così facendo non viene calcolato nessun costo aggiuntivo nel caso di due o più segmenti continui e giacenti sulla stessa linea.

1.2.1.3 Visibility Graph Analysis

Il secondo approccio allo studio dei sistemi insediativi urbani è la cosiddetta *Visibility Graph Analysis* (VGA) ed è la più recente modalità di riduzione a sistema della griglia urbana. I concetti teorici che stanno alla base della VGA sono identici a quelli su cui poggia il primo tipo di approccio; ciò che distingue i due approcci è il modo in cui lo spazio urbano è scomposto: la *Linear Analysis* assume come elemento fondamentale della griglia la linea, la *Visibility Graph Analysis* il singolo punto.

Ogni punto all'interno dello spazio urbano viene identificato come la possibile localizzazione di un utente della griglia e ad ogni singolo punto risulta associata una porzione dello spazio urbano, direttamente percepibile per via visiva, che prende il nome di *isovista*. In questo tipo di discretizzazione è necessario stabilire la densità della griglia urbana per individuare i punti, chiamati *vertices* che vengono poi sottoposti ad analisi. Una trama di vertici particolarmente fitta garantisce informazioni di maggior dettaglio, mentre una densità minore di punti fornisce un tipo di analisi meno dispendiosa ma più approssimativa. L'insieme dei *vertices* distribuiti con opportuna densità a copertura dello spazio urbano prende il nome di *Visibility Graph* appunto, e costituisce l'oggetto dell'analisi configurazionale, ovvero il sistema cui lo spazio urbano viene ricondotto nella VGA [Cutini et al. 2004].

1.2.2 Principali indici configurazionali: primo ordine

Dopo aver utilizzato una delle tecniche sopra illustrate per discretizzare lo spazio urbano, è possibile calcolare determinati parametri che rendono possibile una descrizione quantitativa della rappresentazione della città.

Hillier definisce due possibili dimensioni delle misure quantitative attraverso le quali si è in grado di analizzare una struttura urbana: una prima dimensione introduce due tipi di elementi, quelli statistici, che rimangono fissi e costanti in una particolare configurazione spaziale, e quelli dinamici, che si muovono in questa stessa; la seconda dimensione esprime i concetti di proprietà locale e globale di uno spazio urbano in quanto quest'ultimo è relazionato sia agli elementi prossimi a lui che all'intero sistema di cui fa parte [Hillier et al, 1987]. Attraverso questi due tipi di dimensioni si possono definire gli indici fondamentali dell'analisi configurazionale che rivestono il ruolo di parametri quantitativi in grado di descrivere le caratteristiche configurazionali appunto degli elementi geometrici essenziali di ogni tipo di mappa.

Come primo passo, è necessario porre attenzione ad un parametro di fondamentale importanza, già anticipato precedentemente, nella definizione degli indici configurazionali: la profondità (*depth*) tra due differenti elementi geometrici. Facendo riferimento all'*Axial Analysis*, la profondità è definita come la distanza topologica che intercorre tra due *lines* ed è calcolata attraverso il numero di *lines* che vi sono lungo il percorso più breve nello spostamento da una all'altra e corrispondenti al numero dei cambi di direzione e quindi di prospettiva visuale. La profondità tra due segmenti direttamente connessi è pari a 1 ed è quella minima, mentre la profondità massima teoricamente possibile è pari a $N-1$, dove N è il numero delle *lines* presenti nell'*Axial Map*. La profondità media, invece, è esprimibile attraverso questa espressione:

$$D_m = \frac{D_t}{N - 1}$$

dove D_t è il valore della profondità totale di un segmento i e pari alla somma delle profondità rispetto a tutti i segmenti costituenti la mappa (ossia il numero dei cambi di direzione p_{ij}):

$$D_{t,i} = \sum_{j=1}^N p_{ij}$$

Il valore minimo della profondità media è pari a 1 quando Dt assume il valore di $N-1$ nel caso in cui un *line* è direttamente connessa a tutte le altre *lines* della struttura; il valore massimo della profondità media è invece pari $\frac{N}{2}$ se Dt è uguale a $\frac{N(N-1)}{2}$ e corrisponde alla situazione in cui ogni *line* è connessa ad una *line* che la precede e ad una *line* che la segue.

Illustrato il significato del concetto di *depth*, è possibile definire i principali indici configurazionali detti indici di primo ordine in quanto calcolati direttamente sul sistema; si è deciso di considerare come tecnica di riferimento la *Linear Analysis* poichè sarà quella utilizzata in questo lavoro.

Integration

L'indice di integrazione è sicuramente il parametro maggiormente utilizzato nella ricerca basata sull'analisi configurazionale. Questo parametro indica la profondità media di uno spazio rispetto a tutti gli altri spazi del sistema urbano, ossia il numero minimo di *step* in un grafo necessari per raggiungere uno a partire dall'altro.

L'indice di integrazione permette di valutare quanto l'elemento geometrico della griglia urbana sia segregato o integrato all'interno della struttura stessa ed è definito come la profondità media di una *line* rispetto a tutte le altre *lines* dell'*Axial Map*. Questo parametro risente della dimensione della griglia urbana e quindi del numero delle *lines* in modo significativo; è quindi opportuno svincolarlo dalla grandezza della mappa attraverso il processo di normalizzazione. I due metodi di normalizzazione più utilizzati sono i seguenti:

- il metodo basato sul concetto di asimmetria relativa: questa metodologia è stata introdotta da Himler e Hanson nel 1984 e consiste nell'assegnare all'indice di integrazione valori compresi tra 0 e 1, dove il limite inferiore rappresenta il segmento più integrato possibile e il limite superiore quello più segregato possibile. Questo valore è calcolabile attraverso il rapporto tra la differenza fra la profondità media, D_m , e la profondità media minima, 1, e la differenza tra la profondità media massima, $\frac{N}{2}$, e la profondità media minima, 1:

$$I = \frac{D_m - 1}{\frac{N}{2} - 1}$$

- il metodo basato sul concetto di profondità totale: è una tecnica introdotta da Teklenburg nel 1993 che attribuisce dei valori compresi tra 0 e 1 all'indice tramite la comparazione tra l'*axial map* «calcolata» e una *axial map* «virtuale/teorica» con specifiche caratteristiche.

Il valore dell'indice di integrazione standardizzato è sempre maggiore di zero e cresce con la profondità media. Onde evitare possibili confusioni tra il valore della profondità media e quello di integrazione, è oramai diffuso indicare il livello di integrazione come l'inverso della profondità normalizzata; in questo modo il valore di integrazione aumenta al diminuire del valore della profondità media. In Figura 1.3 si riporta un esempio che chiarisce questo aspetto.

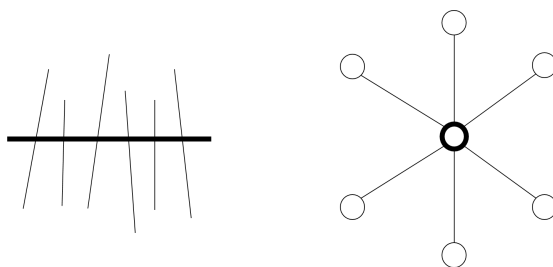


Figura 1.3: Rappresentazione in grassetto dell'elemento con indice di integrazione pari a 1 secondo l'*Axial Map* (a sinistra) e nel corrispondente grafo (a destra).

Come sarà successivamente illustrato, l'indice di integrazione è definito come l'indice di accessibilità topologica delle strade e la sua distribuzione sulla griglia è stata dimostrata essere in correlazione con la distribuzione dei fenomeni che riguardano la dinamica della vita sociale ed economica della città.

Accanto all'indice di integrazione appena illustrato, definito anche indice di integrazione globale (*Global Integration*), si può individuare un indice di integrazione locale (*Local Integration*) che viene calcolato considerando un numero di elementi $n < N$ attorno all'elemento i . Il caso più comune è quello di fissare la profondità pari a 3 (corrispondente ad una distanza topologica che consiste in 3 svolte) in quanto diversi studi hanno dimostrato che l'indice di integrazione di raggio topologico pari a 3 è in grado di prevedere la distribuzione del movimento pedonale all'interno della griglia urbana.

L'insieme delle *lines* con i valori più alti dell'indice di integrazione globale permette di individuare quello che viene chiamato nucleo di integrazione (*Integration Core*), vale a dire quel luogo in cui si concentra il movimento naturale. Nella maggior parte delle ricerche basate sull'analisi configurazionale, il nucleo di integrazione corrisponde a quell'insieme di elementi corrispondenti al 5 percentile dei valori massimi dell'indice di integrazione oppure al 10% degli elementi maggiormente integrati. Nel caso in cui l'*Integration Core* è stabile e non subisce uno *shifting*, ossia uno spostamento, all'interno di una mappa in seguito a delle variazioni del sistema, allora la rete urbana è robusta e resiliente, poichè fornisce una varietà di percorsi alternativi fra coppie di elementi (concetti che verranno ampiamente affrontati in seguito). Come sarà illustrato nella parte di applicazione, questo concetto rappresenta la centralità di un insediamento urbano e sarà quindi molto importante nel lavoro che segue.

Connectivity

L'indice di connettività è definito come il numero di *lines* che sono direttamente connesse ad una determinata *line*.

Il valore minimo dell'indice di connettività è pari a 1, mentre il suo valore massimo è pari a $N-1$ in una *Axial Map*; nel primo caso il valore è quello di un elemento connesso solo ad un altro elemento nell'intera griglia urbana, mentre il valore massimo (teoricamente possibile) è assegnato a quell'elemento che è connesso a tutte le altre linee del sistema, eccetto che lo stesso; nella Figura 1.4 vengono mostrati i due casi limite appena citati.

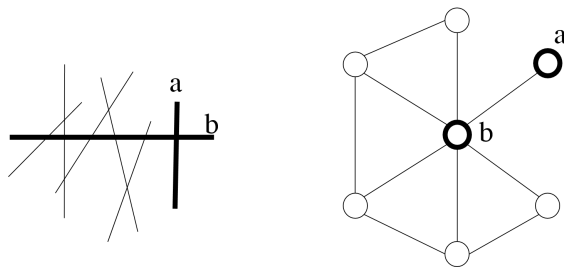


Figura 1.4: Rappresentazione dell'elemento con indice di connettività pari ad 1 (contrassegnato con la lettera a) e quello con indice pari a $N-1$ (b) secondo l'*Axial Map* (a sinistra) e nel corrispondente grafo (a destra).

Questo indice specifica il numero di aperture prospettiche che si aprono su altri spazi: un suo alto valore sta ad indicare che la linea si presenta disponibile ad un elevato numero di spostamenti di accesso verso (o da) una serie di altre linee.

Particolare importanza assume il valore medio dell'indice di connettività calcolato sull'intera mappa in quanto è in grado di valutare la capacità di resilienza dell'insediamento urbano, come vedremo in seguito nel caso di studio.

Choice

Un altro parametro importante nella descrizione di una struttura urbana in termini configurazionali è l'indice di scelta globale (*Global Choice*) definito come una misura dinamica globale di quanto flusso c'è attraverso uno spazio.

In termini generali, uno spazio è caratterizzato da un alto valore di *Choice* quando una gran quantità tra i percorsi più corti che connettono tutti gli spazi a tutti gli altri della griglia, passano necessariamente attraverso di questo. In termini di *Axial Map*, questo indice indica la frequenza con cui una *line* ricade entro i percorsi di minore lunghezza che connettono tutte le *lines* a tutte le altre del sistema, escludendo quelle verso o da la *line* selezionata. L'indice di scelta globale è quindi calcolato attraverso un algoritmo dei minimi percorsi ed è possibile calcolarne il valore normalizzato al fine di svincolarlo dalla dimensione della griglia urbana:

$$C = \frac{N_l - (N - 1)}{N_t - (N - 1)}$$

in cui N_l indica il numero delle linee che contengono la linea in analisi e N_t rappresenta il numero delle possibili connessioni espresso dal numero delle combinazioni di N elementi di classe due, $\binom{N}{2}$. Così standardizzato, il valore dell'indice può variare tra 0 e 1, nel primo caso è associato all'elemento che si trova lungo i percorsi in cui rappresenta l'elemento terminale, mentre il secondo caso è riferito al caso di una *line* presente su tutti i percorsi che connettono ogni coppia di *lines*; in Figura 1.5 viene riportato uno schema per semplificarne la comprensione.

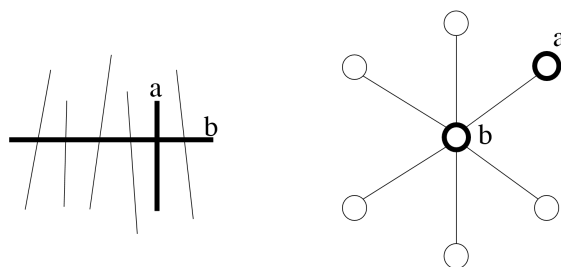


Figura 1.5: Rappresentazione dell'elemento con indice di scelta pari ad 0 (contrassegnato con la lettera a) e quello con indice pari a 1 (b) secondo l'*Axial Map* (a sinistra) e nel corrispondente grafo (a destra).

Control

Un indice dinamico e locale è l'indice di controllo (*Control Value*) che misura il grado con cui uno spazio controlla l'accesso agli spazi nel suo immediato intorno tenendo conto delle connessioni alternative che questi spazi hanno. Più nello specifico, l'indice di controllo indica quanto il singolo elemento, la *line*, è determinante negli spostamenti che coinvolgono gli elementi ad esso connesso.

La formula per calcolare questo indice di un elemento i è la sommatoria dell'inverso degli indici di connettività degli elementi j direttamente connessi all'elemento i stesso e il suo valore può variare tra $\frac{1}{N-1}$, valore minimo, e $N-1$, valore massimo che corrisponde alla situazione in cui una *line* è connessa a tutte le altre *lines* della griglia, ognuna delle quali ha una sola intersezione, in cui N indica, ancora una volta, il numero totale degli elementi lineari del sistema (in Figura 1.6 l'esempio semplificato).

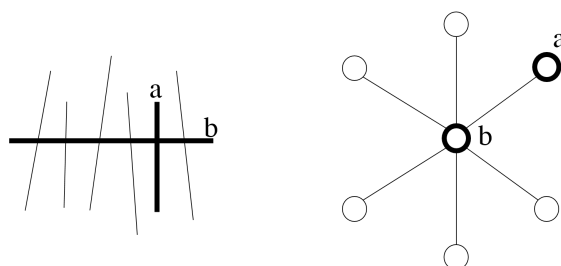


Figura 1.6: Rappresentazione dell'elemento con indice di controllo pari ad $1/N-1$ (contrassegnato con la lettera a) e quello con indice pari a $N-1$ (b) secondo l'*Axial Map* (a sinistra) e nel corrispondente grafo (a destra).

Tra queste misure, l'indice di integrazione globale e l'indice di scelta globale sono due parametri che hanno valenza globale mentre l'indice di integrazione locale, la connettività e il valore di controllo hanno valenza puramente locale.

1.2.3 Principali indici configurazionali: secondo ordine

Mentre gli indici configurazionali sopra illustrati sono di primo ordine poichè vengono calcolati direttamente sul sistema in analisi, le misure che verranno di seguito spiegate sono definite misure di secondo ordine poichè fanno riferimento alle relazioni che vi sono tra le misure di primo ordine.

Synergy

Il concetto di sinergia definisce il grado di relazione che le parti hanno con il tutto, il legame che i valori locali hanno con quelli globali.

In termini concettuali, questo indice di secondo ordine permette di individuare l'influenza che uno spazio locale ha in tutto il sistema globale e viceversa. In termini operativi, la sinergia è espressa dal rapporto tra l'indice di integrazione locale (nella maggior parte dei casi calcolato fissando il raggio topologico pari a 3) e l'indice di integrazione globale, calcolato considerando l'intero sistema:

$$Synergy = \frac{I_{R3}}{I_{Rn}}$$

Ogni elemento discreto della griglia viene rappresentato da un punto in relazione a questo rapporto in un opportuno diagramma; calcolando il valore di sinergia per ogni elemento, il risultato ottenuto è una distribuzione di punti più o meno dispersi rispetto ad una retta di regressione che misura il grado di relazione tra le due variabili in gioco (integrazione locale e globale), che potrebbe essere di natura lineare o esponenziale. Una distribuzione di punti prossimi alla retta indica un buon livello di relazione fra le due grandezze.

Questo tipo di correlazione è in grado di individuare quelle *lines* più integrate in ambito locale che sono invece segregate rispetto all'insediamento complessivo e viceversa.

Intelligibility

Il termine *Intelligibility* si riferisce al grado di semplicità con cui la forma di una struttura urbana si mostra all'utente.

L'intelligibilità definisce come un sistema di spazi può essere facile da osservare, comprendere e percorrere; è un indice di secondo livello che indica il grado con cui quello che viene sperimentato localmente in un sistema permette la lettura della griglia su larga scala: la capacità di un sottoinsieme di elementi di rispecchiare l'insieme totale. Operativamente, questo indice viene calcolato tramite il rapporto tra l'indice di connettività e quello di integrazione globale:

$$Intelligibility = \frac{Connectivity}{I_{Rn}}$$

Come per la sinergia, vengono calcolati i valori di intelligibilità per ogni elemento discreto della griglia in esame e la correlazione tra l'indice di integrazione globale e quello di connettività permette di capire se attraverso lo studio di un sottoinsieme si possono comprendere specifiche caratteristiche dell'intero insieme di elementi.

Tale correlazione viene definita da Hillier come «area's predictability» in quanto il grado di corrispondenza tra i due valori di connettività e integrazione globale indica il grado di predicibilità del pattern del sistema.

Movement Interface

L'indice di *Movement Interface* è la correlazione tra l'indice di integrazione globale e l'indice di scelta globale ed indica quanto l'accessibilità di uno spazio come destinazione da diverse origini è indice della possibilità di questo spazio di ricadere all'interno dei percorsi minimi da tutti i punti a tutti gli altri del layout:

$$MovementInterface = \frac{Choice}{I_{Rn}}$$

Nel caso di una struttura regolare la corrispondenza tra questi due indici di primo ordine è elevata; questo indicatore può quindi essere affiancato a quello di intelligibilità in quanto l'informazione che è in grado di fornire può essere utilizzata per definire se una griglia urbana è di facile comprensione per l'osservatore.

In generale, questi tre tipi di correlazioni tra indici di primo ordine forniscono importanti informazioni sulla struttura urbana in analisi tramite il coefficiente di correlazione, R^2 , che esprime il grado di corrispondenza tra le due variabili considerate: maggiore è il suo valore, tanto più quindi si avvicina ad 1, maggiore è il livello di solidità del legame tra i due parametri.

Coefficient V

Il valore di questo indice è stato introdotto al fine di avere un valore che sia in grado di esprimere il grado di resilienza di un sistema, ossia la capacità di questo di assorbire certi cambiamenti senza subire variazioni significative del suo assetto configurazionale.

Questo indicatore è espresso dal rapporto fra il più elevato indice di scelta globale della struttura in esame ed il numero massimo dei percorsi più brevi che possono interessare una *line* all'interno dell'*Axial Map*:

$$V = \frac{C_{max}}{k}$$

in cui il numero massimo dei percorsi più corti che una *line* può incontrare è $k = \frac{n^2}{2} - \frac{3n}{2} + 1$. Il suo valore varia tra 0 e 1 e decresce con l'aumentare della resilienza della griglia [Cutini, 2014b].

Il significato degli indici configurazionali di secondo ordine verrà illustrato tramite esempi su alcuni layout urbani reali nelle Appendici.

1.2.4 Paragone tra rappresentazione primale e duale

È possibile fare un confronto tra gli indici principali su cui si basano le due teorie illustrate, primale e duale. Rifacendosi alle considerazioni di Jiang nel suo lavoro «A structural Approach to the Model Generalization of an Urban Street Network» in cui spiega la teoria del grafo come rappresentazione dei layout urbani, si possono individuare le seguenti corrispondenze:

- centralità di grado (*Degree*) → connettività (*Connectivity*)
- centralità di vicinanza (*Closeness*) → integrazione (*Integration*)

- centralità di medietà (*Betweenness*) → scelta globale (*Choice*)

Il paragone dei risultati prodotti tramite la rappresentazione duale con quelli dell'approccio primale è reso possibile se si sceglie l'*Angular Segment Analysis* tra le tecniche configurazionali, che tiene conto dell'angolo di svolta durante il percorso e permette di calcolare una distanza metrica oltre che topologica.

1.2.5 Criticità principali e ricerche di sviluppo

Come peraltro ogni teoria, specie se innovativa rispetto agli approcci tradizionali, anche *Space Syntax*, oltre a riscuotere consensi e interesse ha generato critiche e controversie.

Dai diversi studi effettuati sulla performance di *Space Syntax* per l'analisi del movimento dell'utente e la rappresentazione dello spazio in quanto tale, si sono evidenziate alcune limitazioni della teoria configurazionale in questo scopo.

L'analisi configurazionale, infatti, non è in grado di misurare alcune caratteristiche come la capacità di una strada (in termini di numero di utenti o larghezza della via), la direzione del flusso del traffico o le condizioni e usi del suolo. Di conseguenza, due strade possono, per esempio, presentare lo stesso valore dell'indice di integrazione ma avere diverse caratteristiche fisiche e avranno quindi una diversa performance in termini di flusso veicolare o pedonale e di velocità media del flusso [Pereira et al. 2012]. In particolare è nota la discussione scientifica tra Carlo Ratti, ingegnere e architetto italiano, e Bill Hillier e Alan Penn: Ratti sostiene che l'*Axial Map* trascura tutte le informazioni volumetriche dell'assetto urbano 3D; per esempio non tiene conto dell'altezza degli edifici, caratteristica che secondo Ratti influenza di molto il movimento dei pedoni [Ratti, 2004]. Hillier e Penn rispondono affermando che tali caratteristiche, come l'altezza degli edifici, sono intrinseche nel modello di regressione e rafforzano questa loro tesi presentando uno studio su cinque aree di Londra in cui viene dimostrato che il parametro dell'altezza degli edifici è rilevante per il movimento pedonale a livello di area ma non a livello del singolo tratto stradale e inoltre ha un effetto minore sul movimento rispetto alle variabili configurazionali [Hillier, Penn, 2004].

Rifacendosi invece, alla classificazione proposta da Cutini, Petri e Santucci (2004), si evidenziano due nodi critici fondamentali sull'algoritmo basato sugli spazi convessi e sulle *axial lines*:

- non è un algoritmo deterministico in quanto non esiste una soluzione univoca al problema della ricerca del minor numero di linee con la maggior lunghezza all'interno della griglia urbana; questo implica una variazione non indifferente dei valori degli indici configurazionali tra diverse soluzioni;
- nel caso dell'*Axial Map* fornisce valori che rimangono costanti lungo la *line* senza permettere di apprezzare delle variazioni degli indici all'interno della *line* stessa. Come illustrato nel paragrafo dedicato alle tecniche configurazionali, questa critica non ha più valore nel caso della *Segment Map*.

Riassumendo le critiche portate avanti in varie analisi e affrontate in diversi casi studio, si cerca ora di riportare quelle che più sono significative e che, inoltre, si sono incontrate in questo lavoro di tesi:

- la *Space Syntax* pone in primo piano la percezione dello spazio da parte dell'osservatore, rendendo quindi più difficile giungere a conclusioni accettabili nel caso di un sistema urbano di notevoli dimensioni e complesso;
- il sistema sottoposto ad analisi configurazionale deve essere necessariamente chiuso in quanto ogni elemento deve soddisfare la condizione di appartenenza precedentemente illustrata; nel caso di un sistema urbano la definizione del suo confine è sicuramente un'operazione complessa. Il problema della determinazione dell'area di studio verrà approfondito nel capitolo 2;
- la stretta correlazione tra la distribuzione dell'indice di integrazione e la distribuzione di specifiche attività dimostrata da molti studi e anche in questo lavoro di tesi (capitolo 4), può venire meno nel momento in cui le attività sono di tipo monopolistico o comunque attività che possono insediarsi sul territorio trascurando i valori degli indici configurazionali a causa della ridotta concorrenza sul mercato.

Negli ultimi anni, si stanno portando avanti molte ricerche di sviluppo di *Space Syntax* per far fronte alle critiche e ai suoi aspetti negativi. Fra i possibili sviluppi futuri, appare particolarmente interessante la possibilità di integrare le analisi di tipo geometrico a quelle geografiche; i più rilevanti sono l'implementazione di uno strumento *Space Syntax* tra i plugin del software QGis (*Space Syntax Tool*), che è stato ampiamente utilizzato in questo lavoro di tesi e verrà illustrato nelle Appendici, e la creazione di uno strumento

in ArcGis in grado sfruttare appunto le informazioni georeferenziate del software GIS (*Place Syntax Tool*) ad opera di Lars et al. Un altro esempio di metodologia messa a punto per migliorare il metodo di computazione e la precisione di *Space Syntax* (critiche sull'algoritmo sopra elencate) è la metodologia M.A.P.P.A. (*Mark Point Parameter Analysis*) ad opera di Cutini et al., in cui ciò che cambia dalla classica *Axial Analysis* è la relazione che correla gli elementi della griglia fornendo una metodologia meno empirica e calcolabile in automatico.

Capitolo 2

Problematica del confine di un sistema

La determinazione del bordo di un sistema è uno dei temi fondamentali e di difficile trattazione nell'analisi spaziale in quanto è alta la probabilità che l'interpretazione di una struttura urbana cambi a seconda del confine scelto.

In questo capitolo si riportano i metodi più ricorrenti nella letteratura per la determinazione dei limiti del sistema e si studiano i possibili effetti che la variazione del confine causa, focalizzandosi in particolar modo sull'approccio configurazionale.

2.1 Metodi per determinare il confine

La problematica del confine di un sistema nell'analisi spaziale, conosciuta come *boundary problem*, è dovuta alla perdita di elementi prossimi a quelli appartenenti al sistema in analisi da cui dipendono i loro valori; in generale, il fenomeno di dispersione e *clustering* dei dati spaziali dipende dai limiti fissati del sistema.

Nella letteratura di analisi geografica, i diversi metodi per definire il confine del sistema poggiano su due tipi di considerazioni: il confine viene determinato a seconda di eventuali barriere naturali, come fiumi o montagne, oppure viene definito in modo arbitrario da parte dell'uomo, per esempio considerando un tipo di inquinamento o il limite urbano amministrativo delle città.

Relativamente a *Space Syntax*, Hillier, insieme ad altri ricercatori, studia diverse soluzioni per risolvere il problema e rispondere alle due domande che più sono state al centro dell'attenzione in questa problematica: «What, in terms of space, is an urban area? And how do the areas aggregate to form a spatial whole?» [Yang, Hillier, 2007]. In questo studio le conclusioni a cui giungono, attraverso lo studio di possibili relazioni esponenziali tra il numero delle *lines* e la variazione del raggio del sistema, sono molto interessanti: le aree urbane, siano esse città storiche o di nuovo sviluppo, presentano nella maggior parte dei casi quello che viene chiamato *fuzzy boundaries*. Questo fenomeno dipende da come il sistema è strutturato al suo interno e come si relaziona con lo spazio esterno, a seconda quindi, delle interazioni tra la struttura stessa e ciò che la circonda.

Rifacendosi nello specifico allo studio di Park, si possono individuare differenti metodi attraverso cui definire il sistema soggetto ad analisi configurazionale:

- il primo metodo consiste nell'applicazione di un'analisi locale in cui solo gli elementi prossimi al sistema che ci interessa analizzare sono inclusi nel sistema stesso. Nella maggior parte degli studi, questa idea è concretizzata stabilendo un raggio fisso entro cui tutti gli oggetti fanno parte del sistema. Nonostante sia uno dei metodi più utilizzati nell'analisi spaziale, questo tipo di analisi locale può essere considerata un metodo restrittivo poiché traduce semplicemente il problema di determinare il confine del sistema nella ricerca di un raggio fisso; problematica affrontata in modo approfondito da Joutsiniemi [Joutsiniemi, 2010]. Nei suoi studi di ricerca, Park ha inoltre constatato che le proprietà locali hanno una forte tendenza a diminuire all'aumentare della connettività; questo fenomeno è dovuto all'effetto della scala e della dimensione della struttura;
- il secondo metodo affronta in modo più diretto il problema definendo delle regole euristiche da seguire nell'identificazione di una cosiddetta *contextual area*. Nel processo di definizione di quest'ultima, l'area in questione deve soddisfare alcune proprietà: deve avere il sistema che si vuole analizzare posizionato esattamente nel suo centro geometrico; deve approssimare una circonferenza per quanto possibile; e infine deve essere abbastanza grande da ricoprire tutte quelle zone che sono «collegate» con il sistema in analisi. Queste tre condizioni son molto difficili da soddisfare e in particolare la terza caratteristica è quella più ambigua e più diffi-

cile da determinare. In un tipo di era come quella attuale, pensare ad un sistema urbano che non sia collegato con altri sistemi è quasi impossibile e, inoltre, determinare quali altre parti siano collegate o meno al sistema in esame è una questione ambigua e complessa; bisognerebbe definire che cosa si intende per quello che qui viene genericamente chiamato collegamento, se in termini fisici o anche virtuali, ecc. Anche la seconda richiesta di questa metodologia viene molto criticata poiché impone una specifica geometria, quella circolare, per affrontare uno studio basato sull'analisi configurazionale in cui però le relazioni che sussistono tra gli oggetti sono topologiche e non geometriche appunto;

- il terzo metodo per la determinazione del confine risulta essere il più neutrale poiché considera l'intera città, laddove sia possibile. Secondo questo criterio, quindi, il confine del sistema in analisi coincide con il confine amministrativo del sistema stesso. Come i metodi precedentemente spiegati, anche questo è soggetto a critiche. Infatti da una parte è possibile dimostrare che l'effetto della rete urbana tende a diminuire quanto più l'intero sistema si espande; in questo caso, eventuali modifiche in parti del sistema non comportano nessuna modifica significativa dell'intero sistema; dall'altra parte però questo metodo risulta essere «brusco» nel caso in cui in città adiacenti tra loro, le vie di comunicazione vengono interrotte secondo il confine amministrativo [Park, 2009].

Un'altra ricerca molto interessante e recentissima relativa alla problematica del confine è quella effettuata da Masucci et al, in «On the problem of boundaries and scaling for urban street networks». In questo lavoro, si determina una metodologia per definire i confini di una città in modo universale tenendo conto di determinate geometrie, come quelle frattali. Più precisamente, si sono definite delle proprietà delle reti urbane legate alle loro caratteristiche di connettività secondo uno specifico metodo detto *clustering technique* [Masucci et al, 2015.].

2.2 Effetto del confine del sistema in Space Syntax

Nello studio di Park, gli effetti della variazione del contorno vengono analizzati considerando due diversi aspetti: *spatial extensity* e *internal structure* del sistema. Da un lato,

gli effetti del contorno dipendono dalla dimensione del sistema che si desidera analizzare, dall'altro dalla struttura interna del sistema e quindi dalle sue relazioni topologiche.

Come esempio si riporta quello presentato alla settima conferenza internazionale di *Space Syntax* nel 2009, in cui un quartiere a nord della città di Londra, Barnsbury, viene analizzato in diversi scenari in cui le condizioni del contorno, le *boundary conditions*, variano sia in termini metrici che topologici. Si riporta l'Immagine 2.1 che mostra come cambia la distribuzione dell'indice di integrazione del quartiere Barnsbury variando il raggio metrico da 1000 metri a 5000 metri, nella prima riga, e il raggio topologico, da 2 a 5 *steps*.

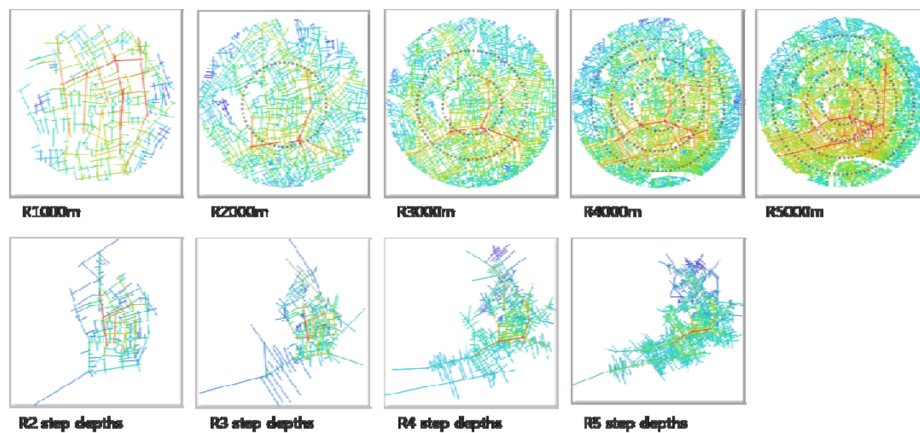


Figura 2.1: Variazione delle condizioni del contorno secondo il raggio metrico (prima riga) e topologico (seconda riga) per l'area di Barnsbury.

Per ogni scenario son state calcolate le seguenti misure:

- il numero delle *lines* costituenti il sistema, N ;
- la correlazione tra integrazione e connettività, $Intllgb$ (*integ*);
- la correlazione tra scelta globale e connettività, $Intllgb$ (*choice*);
- l'indice di connettività, $Conn$;
- l'indice di integrazione globale, ITG ;

- l'indice di intensità globale, *ITS*, che verrà trascurato in questa sede di lavoro,

riportate nelle tabelle in Figura 2.2 e 2.3 al fine di apprezzare in che modo varia il loro valore nelle diverse alternative. In queste, la caratteristica di *spatial extensity* è espressa tramite *Radius* e *N* mentre quella di *internal structure* tramite la predicibilità del movimento dei pedoni e di quello veicolare. È interessante notare che l'indice di intelligibilità, calcolato sia in corrispondenza della misura di integrazione che con quella di scelta, decresce all'aumentare del raggio, sia metrico che topologico; questo accade anche per l'indice di integrazione (è infatti una misura dinamica e globale), ma non per l'indice locale di connettività, che rimane più o meno costante al variare dell'area (misura statica e locale).

| Areas | Radius | N | Intlligb (integ) | Intlligb (choice) | Pedestrian | | | Vehicle | | |
|-----------|--------|------|------------------|-------------------|------------|--------------|--------------|---------|--------------|--------------|
| | | | | | Conn | ITG | ITS | Conn | ITG | ITS |
| Barnsbury | 1 km | 282 | 0.672 | 0.824 | 0.732 | 0.559 | 0.667 | 0.695 | 0.615 | 0.643 |
| | 2 km | 1040 | 0.517 | 0.780 | 0.733 | 0.532 | 0.606 | 0.695 | 0.629 | 0.672 |
| | 3 km | 2315 | 0.503 | 0.760 | 0.733 | 0.456 | 0.557 | 0.695 | 0.571 | 0.626 |
| | 4 km | 4126 | 0.418 | 0.746 | 0.733 | 0.434 | 0.515 | 0.695 | 0.548 | 0.582 |
| | 5 km | 6057 | 0.381 | 0.730 | 0.733 | 0.429 | 0.497 | 0.695 | 0.540 | 0.560 |

Figura 2.2: Tabella con le misure calcolate cambiando il raggio metrico (Park,2009).

| Areas | Radius | N | Intlligb (integ) | Intlligb (choice) | Pedestrian | | | Vehicle | | |
|-----------|--------|------|------------------|-------------------|------------|--------------|--------------|---------|--------------|--------------|
| | | | | | Conn | ITG | ITS | Conn | ITG | ITS |
| Barnsbury | rad 2 | 188 | 0.708 | 0.861 | 0.719 | 0.546 | 0.661 | 0.689 | 0.470 | 0.635 |
| | rad 3 | 323 | 0.712 | 0.812 | 0.733 | 0.585 | 0.623 | 0.695 | 0.533 | 0.669 |
| | rad 4 | 646 | 0.559 | 0.801 | 0.733 | 0.557 | 0.557 | 0.695 | 0.562 | 0.653 |
| | rad 5 | 1313 | 0.488 | 0.756 | 0.733 | 0.508 | 0.457 | 0.695 | 0.538 | 0.596 |

Figura 2.3: Tabella con le misure calcolate cambiando il raggio topologico (Park,2009).

Si deve sottolineare la scelta di studiare le differenze degli indici configurazionali a seconda della dimensione del sistema assegnando molta importanza alla misura dell'intelligibilità; questa decisione è giustificata dalla capacità dell'indice di comprendere se l'intera mappa possa rappresentare il singolo sottoinsieme in termini configurazionali; indica quindi «The degree to which the whole can be read from the parts» [Park, 2009].

Capitolo 3

Analisi diacronica della città di Milano

Nelle pagine che seguono viene descritto l'andamento della genesi insediativa della città di Milano, considerando i principali piani regolatori negli ultimi due secoli. Il tentativo è di comprendere la genesi della rete viaria della città ed il suo sviluppo nel tempo e di osservare come questa viene interpretata dalle analisi di tipo configurazionale.

Si è ormai radicato nella nostra cultura che “le configurazioni fisiche di una città sono il riflesso della sua organizzazione politica, della sua struttura economica e dei suoi rapporti sociali, e che a ogni saliente modifica di questa organizzazione, struttura, rapporti si alterano di conseguenza, in un periodo di mutabile lunghezza, anche quelle configurazioni” [Gambi, Gozzoli, 1997]. Nell'approccio configurazionale, come già ampiamente spiegato nel capitolo 1, si è fortemente convinti che è la griglia urbana dei percorsi a determinare la distribuzione dei fenomeni che avvengono al suo interno. Un simile approccio comporta quindi il capovolgimento della logica operativa tradizionalmente usata nella modellistica territoriale classica, che basa i suoi principi sull'assunzione delle attività insediate come uniche variabili di ingresso e attende i risultati derivanti da una elaborazione e analisi dell'interazione sul territorio tra le varie attività, in ragione della propria consistenza e collocazione. Nell'approccio configurazionale, infatti, ciò che è soggetto ad elaborazione ed analisi è il complesso delle relazioni spaziali che intercorrono fra ogni entità fisica dello spazio dell'area di studio e le rimanenti. Ne consegue che la griglia urbana della città, mentre nella modellistica tradizionale assumeva una

posizione di sfondo e inquadramento strutturale, nell'approccio configurazionale assume un ruolo attivo e di estrema importanza [Cutini, 2011].

L'analisi configurazionale sembra quindi ben prestarsi allo studio della ricostruzione dell'agglomerazione urbana di una città nel tempo: la lettura dei piani è rivolta quindi a comprendere l'espansione della città e le conseguenze del suo sviluppo in termini di rete stradale e configurazione topologica.

3.1 Genesi insediativa della città di Milano

Le strade costituiscono un elemento essenziale nella definizione di un territorio che possa essere considerato urbano. Se un insediamento urbano manca di acquedotti, fognature e delle reti di servizio può tuttavia essere percepito come città; ma se manca di strade, ciò non è più possibile. La costruzione delle strade ha da sempre rappresentato una enorme sfida tecnica nel garantire fondi stradali durevoli e permanenti e nel disegnare tracciati e percorsi a seconda di diversi obiettivi.

3.1.1 Dai Romani alla dominazione austriaca

Si comincia dagli antichi Romani che allora avevano sviluppato un sistema di costruzione delle strade estremamente avanzato. Grazie agli ingenti lavori di scavo nel sottosuolo eseguiti tra il 1897 e il 1907, si è scoperto che le strade di Milano all'epoca dell'impero romano erano provviste di marciapiedi rialzati, di bocche di sfogo per le acque piovane che si scaricavano nella fogna centrale, di lastre di arenaria che costituivano il pavimento.

Con la caduta dell'impero romano, Milano perse la sua potenza politica e centrale del nord di Italia; le mura vennero distrutte, le case demolite; soltanto le chiese rimasero intatte. I tracciati del cardo e del decumano che determinavano la regolarità della struttura di Milano durante l'epoca dei Romani, non sono più riconoscibili. Nonostante ciò gli archeologi hanno potuto ricostruire che il decumano tracciava la città da Porta Romana a Porta Vercellina (oggi Corso Magenta) e il cardo da Porta Ticinese a Porta Nuova.

Una ripresa nella costruzione delle strade si avvertì a partire dal XIII secolo attraverso la realizzazione di nuove vie di comunicazione più resistenti e in grado di sopportare i

carichi pesanti dovuti alla diffusione del trasporto di merci. Mentre le strade dell'impero romano avevano una funzione strategico-militare, quelle medievali assumono un ruolo prevalentemente economico. In questo periodo storico lo sviluppo urbano della città non era soggetto ad una pianificazione precisa e la manutenzione delle strade era molto trascurata.

Ma solo dai primi anni del XVIII secolo si notano i primi sintomi di una nuova era per la viabilità: con la pressione di gestire il traffico in forte aumento a causa del diffondersi dei cocchi e delle carrozze a cavalli, vennero stabiliti nuovi criteri razionali e logici per la costruzione delle strade. Le vie di comunicazione principali che avevano il compito di collegare la città con paesi al di fuori delle mura, venivano costruite in acciottolato con l'obiettivo di garantire un efficiente drenaggio stradale dalle acque meteoriche e una migliore presa degli zoccoli ferrati dagli animali da tiro; le strade secondarie, invece, rimanevano in terra battuta. La nuova attenzione alle strade della città è dimostrata dal decreto del 1786 dell'imperatore Giuseppe II in cui si impone di scrivere il nome delle vie e la numerazione degli edifici [Cantalupi,1884].

Nel XVIII secolo Milano è caratterizzata da una fitta edificazione all'interno della cerchia dei Navigli (città medioevale) e da una discontinua distribuzione di insediamenti tra quest'ultima e le Mura Spagnole. All'interno della città, vengono costruiti numerosi edifici di carattere monumentale quali chiese, palazzi, teatri; il tutto senza una pianificazione leggibile.

Una riproduzione della città di Milano prima della dominazione austriaca è quella realizzata da Daniel Stoopendaal nel 1704 in Figura 3.1. Il disegno urbanistico è analogo a quello seicentesco e sarà lo stesso fino alla fine del secolo. In questa mappa il Duomo appare completo nella planimetria e si individuano tutte le chiese principali (S. Lorenzo, Sant'Eustorgio, San Nazaro, San Babila, San Marco, Santa Maria delle Grazie) e l'Ospedale Maggiore, sede oggi dell'Università Statale. È interessante osservare ciò che viene riportato al di fuori delle mura spagnole, come il Lazzaretto, realizzato nel XV secolo fuori da Porta Orientale (attuale Porta Venezia), luogo di confinamento e d'isolamento per portatori di malattie contagiose, in particolar modo di lebbra e di peste; il borgo San Gottardo, quartiere ricco di botteghe in cui si produceva e vendeva formaggio di qualità, e alcune case affacciate sul Naviglio Grande.



Figura 3.1: Riproduzione della città di Milano nel 1704.

In quest'era la città di Milano è quindi priva di un supporto tecnico di pianificazione; nonostante ciò si hanno la realizzazione del catasto sotto la volontà dei sovrani asburgici e la progettazione di vari interventi eseguiti dall'architetto Giuseppe Piermarini. Quest'ultimo, infatti, assume l'incarico di Architetto di Stato fino all'anno 1796 e realizza il rinnovamento del Palazzo Ducale, con la creazione della piazza antistante per creare un equilibrio urbanistico tra il palazzo e la cattedrale; i Giardini Pubblici, con annessa trasformazione dei Bastioni di Porta Orientale e uno dei più importanti edifici neoclassici della città, il Teatro alla Scala.

3.1.2 Dominazione francese

Prima dell'arrivo di Napoleone nel 1796, la città di Milano non offre una pianificazione urbana ma è caratterizzata da una espansione edilizia caotica e piuttosto confusionaria. Per la prima volta nella storia urbanistica della città, Napoleone costituisce una commissione edilizia, la Commissione d'Ornato nel 1807, costituita dagli architetti Giocondo Albertolli, Luigi Cagnola, Luigi Canonica, Paolo Landriani e Giuseppe Zanoia a cui è affidato l'incarico di conferire adeguato ordine alla città di Milano. Il primo compito della Commissione d'Ornato è dunque tracciare il nuovo piano regolatore, il

grande Piano dei Rettifili. La grande stagione napoleonica sprona la città verso una nuova misura metropolitana e culturale [Cappelletti et al. 2014].

Il principale progetto del piano napoleonico è il nuovo asse viario che avrebbe dovuto connettere la città con la Francia, unendo le antiche vie postali di Varese e Gallarate (attuale Corso Sempione) con la via Emilia (attuale Corso di Porta Romana), riprendendo il cardo dell'epoca romana. Il secondo grande elemento consiste nella realizzazione di una grande piazza circolare intorno al Castello, il Foro Bonaparte, a cura di Giuseppe Antolini, che viene concepito come un secondo centro, alternativo a quello storico. Il Foro rappresenta una nuova grande struttura di scala urbana e territoriale, in forma di corona intorno al Castello, destinata a ospitare i nuovi servizi della città borghese, secondo i principi rivoluzionari portati con sé dai Francesi; avrebbe infatti incluso i principali uffici amministrativi, musei, negozi e un teatro. Il piano napoleonico però non fu portato a termine; gli unici interventi realizzati sono l'abbattimento di parte delle fortificazioni e la realizzazione del Foro Bonaparte, di cui è rimasta la circonferenza.

Testimonianza di questi grandiosi progetti è la carta del 1801 di Giacomo Pinchetti, molto dettagliata per quanto riguarda la delimitazione degli isolati (Figura 3.2).



Figura 3.2: Carta della città di Milano del 1801 realizzata da Giacomo Pinchetti.

3.1.3 Dall'800 al Piano Beruto

Con la caduta dell'impero napoleonico, il piano viene interrotto ma inizia a fiorire l'industria, soprattutto tessile e meccanica, che avrà un vero e proprio sviluppo solo dopo l'Unità d'Italia nel 1861. Questo è un periodo soggetto a grandi cambiamenti politici: la Restaurazione del potere austriaco (1814) è seguita da anni di cospirazione che culminano con le rivolte del 1848 (le Cinque Giornate). La risposta austriaca a queste sommosse è molto dura e per dieci anni la città vive un periodo politicamente difficile. L'edificazione dell'Arco della Pace, in origine concepito come "arco della Vittoria" per celebrare la vittoria francese nella battaglia di Jena (1806), venne poi dedicato alla pace tra le nazioni europee dall'imperatore Francesco I d'Austria una volta rimpadronitosi della città di Milano. Da qui l'annessione della Lombardia al Piemonte e l'avvento dell'Unità d'Italia.

L'anno 1860 segna appunto l'inizio di quella serie di trasformazioni urbane ed edilizie che avrebbero influito in modo decisivo sulla forma della Milano futura. Gli eventi urbanistici più importanti che si susseguono in questi anni sono la sistemazione di piazza della Scala, la costruzione del Cimitero Monumentale e del carcere di San Vittore, la fabbricazione del settore tra Porta Vittoria e le vie Monforte e Conservatorio, la realizzazione del quartiere delle vie Paolo Sarpi, Maroncelli, Farini e la lottizzazione del quartiere del Lazzaretto, all'inizio adibito come caserma, poi demolito in parte. La trasformazione più considerevole è tuttavia la nuova sistemazione della piazza del Duomo. Nel biennio 1861-1862 l'Amministrazione civica propone due concorsi che si concludono con la vittoria di Giuseppe Mengoni e danno l'avvio all'assetto non solo della piazza ma anche della Galleria Vittorio Emanuele (1865-1878) e delle adiacenze. Questo intervento rende la piazza del Duomo il fulcro di ogni interesse cittadino ma nello stesso tempo segna la definitiva scomparsa della città medioevale: con la grande piazza e gli edifici intorno, il Duomo appare rimpicciolito e perde il valore di grandiosità che il tessuto medioevale dava alle cattedrali gotiche.

Oltre alla sistemazione della piazza del centro della città, Milano inizia a sviluppare il sistema ferroviario. Ai primi tronchi ferroviari che avevano collegato Milano con Monza nel 1840 e Milano con Treviglio nel 1846, si aggiungono le linee regolari per Como, Genova, Piacenza e Torino; inoltre nel 1864 entra in esercizio la Stazione Centrale, determinando lo sviluppo del quartiere a ovest della stessa, mentre l'anno successivo la Stazione di Porta Genova con annesso incremento delle attività edilizie nei quartieri limitrofi.

La città di Milano nel 1861 risulta essere divisa in due parti: la prima, all'interno delle Mura Spagnole (attuale circonvallazione interna), conta circa 196.109 abitanti per una estensione superficiale di 8.23 chilometri quadrati; la seconda, etichettata come i "Corpi Santi", oltre le Mura e fino ai confini della circonvallazione esterna, conta invece 46.850 abitanti circa. Quest'ultima area era abitata dal ceto popolare che lavorava nelle industrie e che non poteva permettersi di pagare il dazio, una delle principali fonti di introito fiscale del Medioevo, per accedere al centro della città; fu poi annessa in definitiva alla città nel 1873 [Lapini, 2015].

Per oltre due decenni l'incremento demografico (Milano nel 1881 conta nel complesso 366.996 abitanti circa), le ristrutturazioni del centro e l'espansione edilizia in periferia avvengono senza che l'Amministrazione civica avverta l'esigenza di un piano unitario. È

solo nel 1884 che la città di Milano si rivolge all'ingegnere Cesare Beruto per la stesura di un piano regolatore predisposto ai sensi della prima legge urbanistica italiana (1885).

3.1.4 Il Piano Beruto

Il piano del Beruto, definito *cauto e modesto* da Oliva Federico nel suo lavoro “L'urbanistica di Milano”, è stato elaborato in due versioni: la prima nel 1884, che ottiene l'approvazione del Consiglio comunale, ma viene respinta dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici a causa della dimensione eccessiva degli isolati; la seconda e definitiva, nel 1889.

Per quanto riguarda il primo tentativo, Beruto risponde all'esigenza di espansione con un sistema viario radiale reticolare che forma isolati di circa 200-400 metri di lato al fine di permettere grandi costruzioni residenziali o industriali. Egli, infatti, credeva che gli isolati piccoli fossero la causa della speculazione. Si limita, quindi, a disegnare i tracciati stradali principali, costituenti il cosiddetto “Piano di massima” e rimanda lo studio della lottizzazione minuta ai piani parziali futuri. Nonostante il piano fosse all'avanguardia nella concezione della città e della società stessa intrecciandosi con interessi di tipo economico e legati alla rendita dei suoli, viene rinviato a Milano dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici poiché prevedeva una frequenza di forme irregolari nel disegno delle vie e una ampiezza degli isolati eccessiva che avrebbe reso impossibile la lottizzazione immediata. Alle osservazioni mosse dal Ministero, Beruto reagisce proponendo una relazione dettagliata nel 1887 in cui giustifica le sue scelte progettuali. Sostiene che la dimensione degli isolati avrebbe permesso molta libertà alle costruzioni, permettendo l'insediamento di grandi complessi edilizi e industriali; inoltre giustifica la scelta di una lottizzazione irregolare affermando di voler garantire una struttura del sistema viario di tipo radiale al fine di risparmiare tempo nelle percorrenze e di voler rifiutare la regolarità delle città sorte da zero. Le critiche del Ministero hanno tuttavia il loro effetto e l'Amministrazione comunale ordina a Beruto di compilare un nuovo piano.

Nella sua seconda versione, l'ingegnere decide di suddividere gli isolati con maglie stradali più intense, eliminando qualche strada diagonale, qualche rotonda e qualche isolato triangolare per rendere i nuovi lotti più velocemente edificabili. Un altro cambiamento fondamentale che avviene con il passaggio dalla prima alla seconda versione del piano riguarda il verde. Il piano del 1884 infatti prevedeva diversi piccoli parchi di quartiere

diffusi nel tessuto di espansione che la versione definitiva riduce a due interventi: il Parco Sempione e il Parco Ravizza.

L'espansione della città è compresa tra due anelli: quello più interno previsto al posto delle mura cinquecentesche dei Navigli che si sarebbero dovute abbattere e che forma un anello completo interrotto solo dalla Piazza d'Armi e dalle fortificazioni del castello, e quello esterno che rappresenta un anello viario senza interruzioni. La nuova trama viaria rappresenta un elemento di qualità del piano ed è caratterizzata da strade che sono differenziate in funzione della loro importanza. Questo progetto determina il disegno urbano della città costituita da assi radiali convergenti verso il centro e da anelli circolari. Inoltre, vista la condizione malsana che caratterizzava le acque del Naviglio e la sua carente funzione di trasporto via nave, il Piano Beruto opta per la copertura della via d'acqua che però sarà effettivamente realizzata solo negli anni Trenta del Novecento [Oliva. 2002].

Sulla nuova mappa di Beruto in Figura 3.3 è possibile osservare all'interno della circonvallazione interna le arterie radiali principali che si dipartono come ramificazioni dalla piazza del Duomo; si possono inoltre individuare via Orefici, piazza Cordusio, via Mercanti, via Dante e il sistema del Foro Bonaparte. Tra la cinta dei bastioni (di cui si prevede l'abbattimento) e la circonvallazione esterna, sono tracciate altre anulari intermedie, in particolare quelle che si dipartono dal corso Sempione, da Corso Buenos Aires e da piazzale Loreto che determinano isolati a forma triangolare e incroci stradali multipli.

Durante questi anni, si accentua la tendenza a localizzare le sedi delle industrie in zone periferiche, spesso in stretto contatto con la ferrovia. Le aree di maggior addensamento risultano essere a sud e a nord-est, all'esterno del percorso dei binari: a sud della stazione di Porta Romana sorgono le Officine Meccaniche OM; in prossimità della stazione di Porta Genova vengono costruiti molti stabilimenti tra cui le officine meccaniche Riva e la Max Meier; in piazzale Lodi nasce la Tecnomasio-Brown Boveri. Nella zona nord di Milano, invece, si sviluppa il fronte industriale in tre aree distinte: la zona di Porta Garibaldi, in cui si stabiliscono industrie meccaniche come la Bianchi, la Sueffert, la Edison-Grimoldi; la zona in prossimità di Bovisa, specializzata nel settore chimico-farmaceutico con l'industria Carlo Erba e infine la zona di Sesto San Giovanni che diviene un quartiere industriale molto affermato e scelto da grandi industrie come la Pirelli, la Marelli e la Breda. Lo sviluppo industriale di questo periodo è molto forte e induce un

forte flusso migratorio dalle campagne della bassa Lombardia e del Veneto verso la stessa città di Milano. Questo determina la nascita di quartieri nuovi e un incremento rapido della popolazione residente. In particolare, nel centro della città si diffonde sempre più la residenza signorile e l'attività terziaria mentre nelle zone periferiche si stabiliscono gli stabilimenti industriali e le residenze popolari.

A dimostrare la crescente importanza della città di Milano sono l'Esposizione Nazionale del 1881 e la Terza Esposizione Universale del 1906.



Figura 3.3: Carta della città di Milano del 1884 nel Piano Beruto.

3.1.5 Il Piano Pavia Masera

A causa dell'incremento sempre più accentuato di interessi economici della città di Milano, il Comune commissiona ai suoi ingegneri Angelo Pavia e Giovanni Masera un nuovo piano, che verrà poi approvato dal Ministero nel 1912.

L'attuazione del piano Beruto è ancora lungi dall'essere completata: la lottizzazione era appena all'inizio, i Navigli erano ancora scoperti, le mura spagnole non erano state ancora abbattute e la circonvallazione esterna non era stata ancora realizzata. Nasce quindi l'esigenza del nuovo piano, legata al peso che stava assumendo la rendita fondiaria nell'economia capitalistica di quel periodo e alla costruzione e ristrutturazione della cintura ferroviaria; vengono infatti realizzate tre nuove stazioni ferroviarie, Porta Nuova, Porta Vittoria e Centrale. Lo schema viario del Piano Pavia-Masera riprende quello di Beruto, prolungando le radiali interrotte, progettando nuove strade perpendicolari a esse, e crea un aggregato urbano sempre più gravitante intorno al centro. Si tratta, quindi, di un Piano che riprende nelle sue linee generali il secondo Piano Beruto e dà forma compiuta alle sue trasformazioni. Il piano Masera Masera, sulla carta disegnato per una città di 1.100.000 abitanti, restò in vigore dal 1912 al 1933, subendo nel frattempo aggiunte per allinearsi alle successive aggregazioni di comuni limitrofi. Una delle principali innovazioni introdotte da Giovanni Masera fu il progetto della diagonale fra San Babila e piazza della Scala, con l'obiettivo di alleggerire il traffico gravante sul Corso Vittorio Emanuele e creando contemporaneamente una nuova area commerciale. Il nuovo piano regolatore fu influenzato molto dalla rapida espansione edilizia del primo decennio di secolo: la superficie edificata passa da 6.614.520 mq del 1874 ai 14.573.923 mq del 1911, a causa dello sviluppo urbano aldilà delle Mura Spagnole [Berbenni, 2010].

La prima Guerra Mondiale segna una battuta di arresto nella realizzazione del piano. Nel 1922 la stampa fascista inizia una campagna per la "Grande Milano" e nel 1923, quando ormai i fascisti sono in giunta, avviene l'aggregazione a Milano di 11 comuni limitrofi. Ancora una volta però la redazione di varianti e la stipula di convenzioni tra privati e amministrazione rivela come il piano sia poco adatto a far fronte alle nuove esigenze di trasformazione urbana. La conseguenza è che parte della cultura tecnica e degli ambienti politici maturano la convinzione che il piano debba ancora una volta essere rivisto [Mazza, 2006].

Nonostante lo sviluppo insediativo oltre il confine segnato dalle Mura Spagnole, la po-

polazione era di gran lunga concentrata all'interno della linea daziaria, sottolineando ancora una volta il monocentrismo che rappresentava il vero carattere informatore della geografia urbana. Lo sviluppo monocentrico delle città risulta fermato entro i limiti del Piano Regolatore del 1912 nella consapevolezza delle difficoltà di gestione di una metropoli troppo dilatata; vengono creati dei sobborghi, dei quartieri di vita autonoma nella zona che circumnavigava il centro originario della città. Questo progetto è soggetto sia a critiche che a consensi, ma verrà appoggiato dal tecnico Cesare Albertini che sarà il protagonista del prossimo Piano Regolatore della città [Denti, Mauri, 2000].



Figura 3.4: Carta della città di Milano nel Piano Pavia-Masera.

3.1.6 Il Piano Albertini

Il Piano Regolatore che ebbe la maggiore importanza per l'evoluzione del tessuto viario della città di Milano della prima parte del secolo XX è quello affidato all'ingegnere Albertini.

Occorre ricordare che il contesto storico di questo periodo è molto arduo per la storia d'Italia in seguito alla Prima Guerra Mondiale; dal 1919 al 1920 il paese è attraversato dal cosiddetto "biennio rosso" caratterizzato dalle manifestazioni degli operai e contemporaneamente nascono i Fasci di Combattimento. Dopo la prima fase di arresto della

produttività, la città di Milano riprende in mano lo sviluppo industriale: nel 1927 si produce dieci volte di più che nel 1914. Una nuova crisi però è in arrivo, nel 1929 avviene il crollo di Wall Street che porta negative conseguenze anche in Italia, producendo il tracollo del reddito nazionale. Dal 1935 la crescita demografica a Milano è in continuo aumento e crescono anche i comuni limitrofi e la necessità di affidarsi ad un nuovo piano si fa sentire.

Il piano Albertini propone un fitto reticolo stradale con maglia ortogonale che suddivide minuziosamente il territorio in lotti direttamente edificabili e intende dare al centro di Milano una funzione prevalentemente direzionale, decentrando la popolazione verso le zone meno popolate del territorio municipale. Vengono realizzati molti interventi all'interno della città, come la demolizione dei sovrappassi ferroviari su cui transitavano i treni diretti alla vecchia stazione centrale e la progettazione del nuovo collegamento tra la città e l'Idroscalo, e l'aeroporto di Linate. Inoltre, dagli sventramenti a sud di Piazza Cordusio, sorge il nuovo quartiere degli Affari con il palazzo della Borsa; nasce Piazza Diaz e viene aperta l'attuale Piazza della Repubblica. Il Piano Albertini prevede tutti questi sventramenti nel centro della città, con l'obiettivo di garantire uno sviluppo edilizio intenso sino ai confini comunali. Tra il 1928 e il 1930 vengono coperti i Navigli, intervento già previsto dal Piano precedente redatto da Beruto. Ciò che manca nel piano è però l'attenzione al verde e di qualsiasi indicazione di destinazione pubblica delle aree. Il disegno della città di Milano nel Piano Albertini risulta, quindi, fitta di insediamenti edilizi e priva di spazi pubblici e verdi. Un aspetto molto importante e da tener conto è la zonizzazione della città prevista dal piano: ogni zona acquista un funzione ben specifica. Nasce Città degli Studi con il Politecnico e l'Università degli Studi; l'ex Piazza d'Armi diventa la Fiera Campionaria, inaugurata nel 1923; verso San Siro si concentrano gli impianti sportivi tra cui lo Stadio, il Lido, il Velodromo Vigorelli, il Palazzo del Ghiaccio; nasce il complesso della Città ospedaliera con l'Ospedale Maggiore di Niguarda; mentre a Ovest vengono raggruppati gli edifici militari e le caserme [Lapini, 2015].

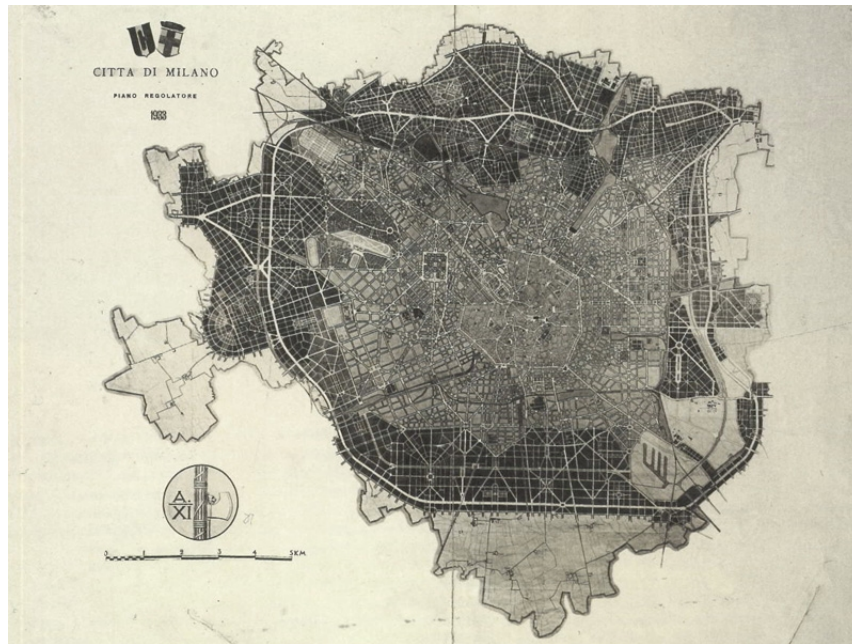


Figura 3.5: Carta della città di Milano del 1934 del Piano Albertini.

Tra la prima adozione del piano Beruto e l'approvazione del piano Albertini passano cinquant'anni durante i quali la città conosce non poche trasformazioni fisiche, mentre non cambia il disinteresse delle sue classi dirigenti per l'ordinamento spaziale del territorio intorno a Milano e per un progetto complessivo dello sviluppo interno. I piani sono intenzionalmente piani "indicativi" e rivolti ad assecondare il cambiamento; in particolare i primi due piani sono soprattutto strumenti di negoziazione e legittimazione dei progetti di trasformazione, il terzo piano è quasi solo più uno strumento di legittimazione, in quanto i progetti di sventramento e ricostruzione di ampie parti del centro sono negoziati con riferimento al piano Masera o indipendentemente da esso. La forma urbana che i tre piani disegnano riprende e amplia la forma antica e nuove circoscrizioni riproducono il confine già disegnato in passato dalla cinta delle mura. Con l'ingegnere Albertini prevale un pragmatismo ostentato; è questo realismo cinico che chiude l'intensa stagione delle trasformazioni milanesi degli anni venti e trenta. La guerra segna la fine del regime, e tra le novità della repubblica vi sarà una pianificazione urbana diversa dal passato [Mazza, 2006].

3.1.7 Piani Regolatori Generali

La prima normativa, che almeno in parte è possibile definire urbanistica è rappresentata dalla legge 25 giugno 1865, n. 2859, la prima ad introdurre l'istituto dei piani urbanistici, piani regolatori e piani di ampliamento, finalizzati i primi alla disciplina della riorganizzazione dell'abitato, i secondi a regolare l'espansione del centro abitato. La prima disciplina generale ed organica è rappresentata, invece, dalla legge urbanistica 17 agosto 1942, n. 1150 che ha introdotto gli strumenti urbanistici che hanno permesso lo sviluppo dell'urbanistica italiana. In particolare, la legge ha assegnato al Piano Regolatore generale il ruolo fondamentale di guida dello sviluppo del territorio ponendo decisamente sotto il controllo pubblico l'espansione dell'attività edilizia. Il legislatore decise di potenziare l'intervento pubblico nello sviluppo dell'attività edilizia, centralizzando fortemente il controllo degli usi del suolo in un paese che attraversava una situazione di grave crisi, dal momento che la guerra aveva e avrebbe ulteriormente determinato distruzioni di infrastrutture indispensabili per la vita civile [A. Svil. terr., 2000].

Con tale provvedimento è introdotto il Piano Regolatore Generale nel campo della pianificazione comunale. Il P.R.G. si connota come mezzo esteso a tutta la città in qualità di piano direttore che ha la funzione non di risanamento ma di costruzione di disciplina dell'assetto, dello sviluppo e delle trasformazioni dei centri insediativi. La legge suddivide il processo di pianificazione in tre fasi distinte che fanno riferimento a tre diversi strumenti: il Piano Territoriale di Coordinamento, che ha la funzione di coordinare le attività urbanistiche; il Piano Regolatore Intercomunale, che si occupa della sistemazione dei Comuni con specifiche caratteristiche di sviluppo; il Piano Regolatore Generale, che funge da asse portante di tutta la pianificazione.

Il P.R.G. è lo strumento che disciplina l'assetto dell'incremento edilizio e lo sviluppo in generale del territorio comunale. La funzione del P.R.G. considera la totalità del territorio comunale ed indica essenzialmente (art. 7):

1. la rete delle principali vie di comunicazione stradali, ferroviarie e navigabili e dei relativi impianti;
2. la divisione in zone del territorio comunale con la precisazione delle zone destinate all'espansione dell'aggregato urbano e la determinazione dei vincoli e dei caratteri da osservare in ciascuna zona (c.d. zonizzazione);

3. le aree destinate a formare spazi di uso pubblico o sottoposte a speciali servitù (c.d. localizzazione);
4. le aree da riservare ad edifici pubblici o di uso pubblico nonché ad opere ed impianti di interesse collettivo o sociale (c.d. localizzazione);
5. i vincoli da osservare nelle zone a carattere storico, ambientale, paesistico;
6. le norme per l'attuazione del "Piano".

Le prescrizioni contenute nel P.R.G. (art. 7 L. n. 1150/42) possono essere classificate nell'ambito di due grandi categorie: le Zonizzazioni e le Localizzazioni.

Le prime sono divisioni del territorio comunale in grandi aree omogenee, come zone di espansione, a verde agricolo) caratterizzate dalla tipologia (caratteristiche tecniche costruttive) e dalla volumetria (densità edilizia) degli edifici. Le zonizzazioni devono tenere conto degli standard stabiliti dalla legge e dei limiti inderogabili di altezza, volumetria e distanze e rispettare i rapporti percentuali per servizi pubblici, parcheggi ed attrezzature di vario tipo.

Le seconde, le localizzazioni riguardano le opere pubbliche da eseguire in determinate aree, sia da parte del Comune che dello Stato o di altri enti pubblici. Le localizzazioni definiscono le opere di urbanizzazione primaria, come le strade e le piazze, le fognature e le reti di fornitura dei servizi pubblici essenziali, e quelle di urbanizzazione secondaria, tra cui le scuole, gli ospedali, gli edifici pubblici, le chiese, etc. [Salamone, 1942].

Un'altra distinzione fondamentale che viene sottolineata nel Piano Regolatore Generale è quella che sussiste tra la destinazione d'uso e la destinazione di zona. La destinazione d'uso categorizza l'oggetto considerato per contestualizzarlo in un insieme; nel sistema edilizio riguarda singoli immobili o categorie di unità immobiliari. La destinazione di zona, invece, definisce una specifica funzione e identità della zona in oggetto; come zona di verde agricolo, destinata alle esigenze di ordine agricolo o eventualmente alla salvaguardia di un'equa proporzione tra aree edificabili e non; zona di espansione residenziale, per dare spazio al fabbisogno di abitazioni in previsione di incrementi demografici; zona commerciale, in cui il suolo è destinato a locali e uffici; zona industriale, destinata alla realizzazione di agglomerati industriali e attività genericamente definite come terziarie; zona ad alberghi, per garantire lo sviluppo del settore ricreativo-alberghiero;

zone pubbliche, destinate all'insediamento di attività finalizzate all'erogazione di servizi pubblici, come distribuzione del gas, dell'acqua, dell'elettricità e anche servizi per il trasporto pubblico e la viabilità nella città.

3.1.8 Il Piano Venanzi e il piano Regolatore Generale del 1953

Sino al 1946 il Piano Albertini era rimasto in sospenso e solo nel novembre del 1945 viene emanato il bando per la redazione del nuovo piano regolatore che avrebbe dovuto seguire le indicazioni della legge urbanistica n. 1150, sopra spiegata. Le proposte del piano realizzato dal gruppo AR, Architetti Riuniti, sono le più incisive. Il piano propone soluzioni innovative e all'avanguardia ispirate alle idee del Movimento Moderno che si allontanano dall'impostazione dei piani precedenti. Essi si oppongono alla terziarizzazione del centro storico della città e propongono l'insediamento del nuovo centro direzionale nell'area dell'ex Scalo Sempione, sostenendo il decentramento industriale nel territorio regionale, e nuovi quartieri residenziali esterni e immersi nel verde. Inoltre, suggeriscono la costruzione di una rete ferroviaria metropolitana integrata con il servizio ferroviario regionale: due assi viabilistici di scorrimento veloce che si sarebbero dovuti incontrare nei pressi del nuovo centro direzionale. Lo studio del nuovo piano ha inizio ufficiale nel luglio 1946 attraverso le collaborazioni di più commissioni; a tal proposito viene nominata una Commissione Generale, con presidente l'assessore Mario Venanzi, a cui fanno capo un Ufficio Tecnico, una Commissione per le pratiche attuative. Viene quindi ideato un sistema complesso per far fronte al nuovo piano regolatore con l'obiettivo di analizzare nel dettaglio i problemi della città [Berbenni, 2010].

Il Piano Venanzi viene adottato nel marzo 1948 e riprende molte delle proposte del piano progettato dal gruppo AR. Tuttavia quest'ultimo non trova applicazione e nel 1950 viene adottato un secondo progetto di piano che verrà definitivamente approvato nel 1953.

Il Piano Regolatore Generale del 1953 mette in evidenza le problematiche urbanistiche della città di Milano e le tematiche che lo caratterizzano: il pendolarismo, il movimento di veicoli e merci, le specificità produttive (agricoltura, turismo, residenza, industria) della regione, che determinano la sua suddivisione in otto zone da regolare con successivi provvedimenti di conservazione o trasformazione.

La politica del piano verso il centro storico consiste nel vincolo specifico di alcuni monumenti destinati al restauro ma il cui contorno è abbandonato alle norme del regolamento edilizio; di conseguenza nascono edifici senza qualità e senza nessi di alcun tipo con le preesistenze storiche, come in via Torino e in Corso Venezia.

La legge urbanistica n.1150 introduce il cambio di destinazione d'uso che in questi anni ha portato a molte trasformazioni di aree da industriali a residenziali. E' qui che inizia il processo di deindustrializzazione della città, che si basa sullo spostamento degli stabilimenti industriali verso l'esterno, nella zona periferica. Questo determina un eccesso di spreco di territorio, che è presente nella cultura politico-amministrativa italiana degli anni Cinquanta [Denti, Mauri, 2000].

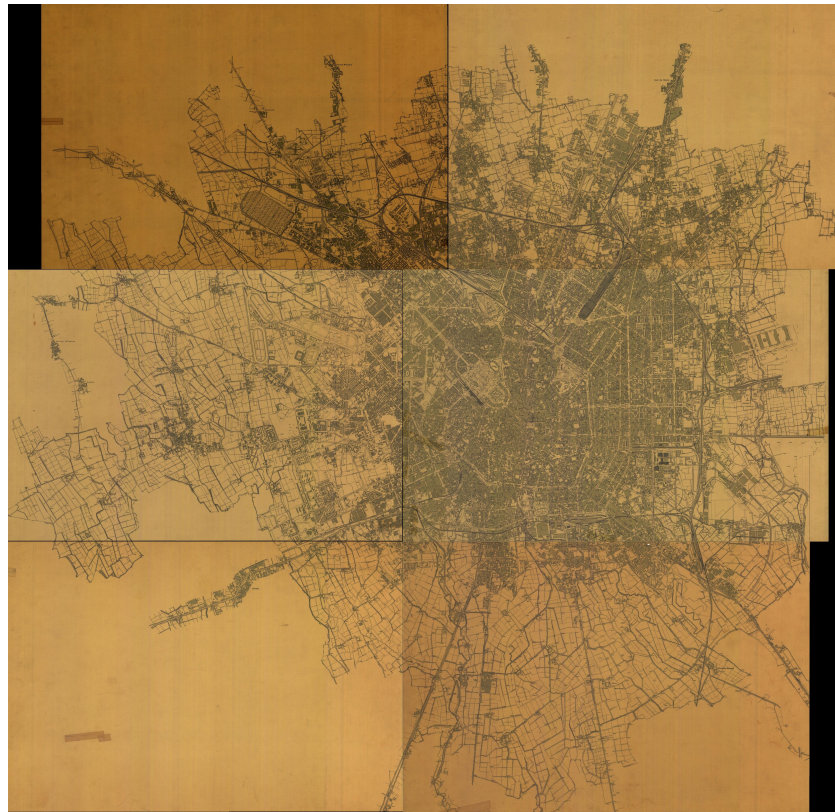


Figura 3.6: Carta della città di Milano nel 1956.

3.1.9 Dal 1953 agli anni '70

Negli anni Sessanta la disciplina giuridica-urbanistica deve affrontare l'esplosione del progressivo inurbamento delle città del nord. In questa fase storica, infatti, a causa delle grandi migrazioni dal sud verso il triangolo industriale (costituito da Genova, Torino e Milano), si viene a verificare una grande carenza di alloggi; nasce quindi la necessità di emanare una serie di provvedimenti legislativi.

Dal dopoguerra al 1962, vi è il processo della ricostruzione a caratterizzare lo sviluppo della normativa urbanistica. Particolare importanza assumono i cosiddetti Piani di Ricostruzione in cui vengono approvate una serie di norme che riguardano l'edilizia, in particolare la ricostruzione degli abitati danneggiati dalla guerra. La prima fase della produzione legislativa in campo urbanistico si chiude nel 1962 con la legge n. 167, con la redazione di piani speciali, i Piani di Zona. Qui si chiude il primo significativo sviluppo legislativo.

L'anno 1967 è caratterizzato dalla legge n. 765, conosciuta come la Legge Ponte, che estende il controllo urbanistico all'intero territorio comunale. Si tratta di una legge molto importante perché introduce dei limiti tassativi alla edificabilità in assenza di un Piano Regolatore Generale, al fine di sollecitare i Comuni a dotarsi degli strumenti urbanistici necessari. Nel contempo la Legge Ponte definisce l'obbligo di provvedere standard minimi di aree per servizi pubblici per le varie zone del territorio (gli standard urbanistici definiti dal Decreto Ministeriale 1444/1968) e l'obbligo di contribuzione, attraverso cessioni di aree o contribuzione in denaro, per i piani di lottizzazione. Le vicende che sono seguite riguardano aspetti particolari, anche se di rilevante importanza, della disciplina urbanistica. Ciò che è più evidente in questo periodo è l'incapacità dimostrata dal legislatore di attuare una riforma generale e la decisione di attuare riforme di settore o limitate a singole parti della legislazione urbanistica.

Verso la fine degli anni '70 si giunge all'emanazione della legge 28 gennaio 1977, n. 10, che introduce il principio generale dell'onerosità dell'atto autorizzativo e tenta inoltre, senza peraltro riuscirci, di risolvere il problema dell'indennizzabilità dei vincoli di piano regolatore e di trasferire al potere pubblico il diritto di edificare e successivamente definisce le politiche di recupero o risanamento del patrimonio edilizio esistente [A. Svil. terr., 2000].

3.1.10 Città senza regole

Gli anni Ottanta, Novanta e i primi anni del 2000 sono anni senza piani urbanistici generali, definiscono così una Milano senza regole. Si tratta di venticinque anni caratterizzati da progetti e programmi che si susseguono in modo confusionario e disorganico sul territorio.

I progetti di forte influenza passano per diversi piani e documenti direttori che gestivano i grandi interventi sulle aree Bicocca-Pirelli, Portello-Alfa Romeo, Fiera-Pero Rho. Si propone di nuovo il piano regolatore, sostituito poi da una sorta di piano tecnico, strategico e programmatico; si ha di lì in poi l'avvio dei *Programmi di Riqualificazione Urbana*.

Il decreto ministeriale 21 dicembre 1994 regola i *Programmi di Riqualificazione Urbana*, PRU. Tra i contenuti delle proposte unitarie di interventi vi sono “interventi di edilizia non residenziale che contribuiscono al miglioramento della qualità della vita nell’ambito considerato”; “l’acquisizione di immobili da destinare ad urbanizzazioni primarie e secondarie o edilizia residenziale pubblica mediante cessione gratuita, cessione volontaria, espropriazione, permuta, ecc.”. Successivamente viene introdotto l’istituto dei cosiddetti *Interventi di Trasformazione Urbana* che devono essere effettuati su aree individuate da una apposita deliberazione del consiglio comunale e si sono aggiunti i *Programmi di Riqualificazione Urbana e di Sviluppo Sostenibile del Territorio*, PRUSST, istituiti dal decreto del Ministero dei lavori pubblici 8 ottobre 1998 [A. Svil. terr., 2000].

3.1.11 Dal Documento di Inquadramento alla Milano attuale

Durante il primo mandato della giunta Albertini nel febbraio dell’anno 2000, viene presentato il Documento di Inquadramento per le politiche urbanistiche intitolato "Ricostruire la grande Milano". Non si tratta di un vero e proprio Piano Regolatore ma di un documento di indirizzo che guiderà le future trasformazioni urbanistiche della città di Milano.

Il Documento di Inquadramento è costituito da due parti: nella prima si rifiuta lo strumento del Piano Regolatore e si evidenzia la sua inefficienza nell’affrontare le problematiche della trasformazione urbana; nella seconda parte, invece, si propone di sostituire il Piano con delle regole flessibili atte a promuovere la presentazione dei cosiddetti

Piani integrati di Intervento e a valutarne i contenuti. Più precisamente, nel settore della viabilità, si conferma uno schema fortemente radiocentrico del trasporto pubblico; le principali proposte sono: alta velocità per i collegamenti Malpensa, Linate, Orio al Serio sul tracciato del Passante; servizi di trasporto ferroviario urbano sulla linea Mortara-Milano; servizio di metropolitana sino alle destinazioni di Rho-Pero, Assago e Linate e vengono riproposte la Gronda Nord e la Gronda Sud.

Una svolta fondamentale nei Documenti dell'Urbanistica è sicuramente l'approvazione della legge regionale lombarda n.12 dell'11 marzo 2005 che introduce il Piano di Governo del Territorio. Il PGT è il nuovo strumento urbanistico la cui funzione è quella di definire l'assetto dell'intero territorio comunale avvalendosi di tre distinti atti: il Documento di Piano, il Piano dei Servizi e il Piano delle Regole.

Il Documento di Piano definisce il quadro generale della programmazione urbanistica anche in base alla partecipazione attiva dei cittadini. Tale documento deve fornire una ricognizione completa del territorio comunale facendo particolare attenzione alle trasformazioni avvenute sul territorio, alla situazione geologica, idrogeologica e sismica; deve analizzare il territorio dai punti di vista viabilistico, infrastrutturale, economico, sociale e culturale; deve pianificare lo sviluppo della popolazione residente e stabilire gli obiettivi di crescita, di miglioramento e di conservazione della politica. Infine individua e definisce le caratteristiche degli ambiti di trasformazione del territorio comunale e stabilisce i criteri di compensazione, perequazione e incentivazione.

Il Piano dei Servizi definisce le strutture pubbliche o di interesse pubblico di cui il comune necessita. Il suo compito è quello di valutare i servizi esistenti in relazione alla popolazione (stabilmente residente, da insediare e gravitante nel territorio) e di prevederne l'eventuale sviluppo ed integrazione stimandone i costi e prefigurando le modalità operative.

Il Piano delle Regole, infine, definisce la destinazione delle aree del territorio comunale; delimita gli ambiti del tessuto urbano consolidato e al loro interno identifica i nuclei di antica formazione e i beni ambientali e di interesse storico, artistico o monumentale. Individua gli immobili sottoposti a vincolo di tutela dalle normative statali e regionali, le aree a rischio compromissione e le aree destinate all'agricoltura, di valore paesaggistico-ambientale ed ecologico e le aree non soggette a trasformazione urbanistica. Fornisce inoltre le prescrizioni per gli interventi integrativi o sostitutivi sull'esistente stabilendo le modalità di intervento, le caratteristiche fisico-morfologiche e i parametri da rispettare.

Il Piano del Governo del Territorio sostituisce definitivamente il Piano Regolatore Generale, vigente dal 1980. Diversamente dal PRG, il PGT divide idealmente la città di Milano in due grandi aggregati: la città della rete delle infrastrutture della mobilità, delle reti tecnologiche e dei servizi, questi ultimi suddivisi in due funzioni, il verde e i servizi alle persone; e la città privata regolata da alcuni principi, quali l'indifferenza delle destinazioni (art. 5 delle Regole «le destinazioni funzionali sono liberamente insediabili»), l'indice unico per macrozona e la perequazione e trasferibilità dei diritti di edificazione [Consumatori, Diritto e Mercato, 2011].

Le principali novità concettuali introdotte dal Piano del Governo del Territorio riguardano la partecipazione dei cittadini: l'amministrazione comunale è tenuta a informare la cittadinanza che il processo di stesura del PGT è iniziato; la compensazione, principio secondo cui l'amministrazione comunale in cambio della cessione gratuita di un'area sulla quale intende realizzare un intervento pubblico può concedere al proprietario del suolo un altro terreno; la perequazione, principio secondo cui i vantaggi derivanti dalla trasformazione urbanistica devono essere equamente distribuiti tra i proprietari dei suoli destinati ad usi urbani e collettivi; infine l'incentivazione urbanistica, ossia la concessione di un maggiore volume edificabile (fino al 15%) e il *mix funzionale libero*, cioè la non conformazione dei suoli in sede di programmazione strategica.

Il Piano di Governo del Territorio di Milano è stato adottato dal Consiglio Comunale il 14 luglio 2010 con una percentuale di consensi del cinquantotto per cento e dopo cinquantacinque sedute. Nel Documento di Piano del Piano di Governo del Territorio si dichiara di voler prendere le distanze dal modo tradizionale di fare urbanistica e si propone un modo innovativo di pianificazione della città, delineando la tendenza al *mix funzionale libero* in opposizione alla zonizzazione dei vecchi documenti. Il PGT non vuole più essere perciò un piano regolativo di tipo tradizionale, quanto piuttosto un piano flessibile, negoziale che si valuta sugli effetti reali che produce. Per questo motivo è affidato un forte ruolo al comune che deve disegnare la città pubblica per grandi progetti urbani ed è concessa una maggiore libertà agli operatori in termini di destinazioni d'uso e quantità nel costruire e rinnovare la città privata. Inoltre, in questo documento di pianificazione urbanistica viene affermato un nuovo modello di organizzazione spaziale della città, una nuova configurazione urbana reticolare-multicentrica, in alternativa a quella attuale radiale-monocentrica, in particolar modo per sconfinare l'abitudine del consumo progressivo di suolo inedito [Urbanistica, 2009].

3.2 Applicazione dell'analisi configurazionale

Al fine di eseguire una analisi diacronica della genesi insediativa della città di Milano attraverso l'approccio configurazionale, son state selezionate due importanti cartografie ritenute significative per questo studio poiché molto differenti tra loro e quindi considerate linee di separazione tra le diversi fasi che hanno caratterizzato l'evoluzione del tessuto insediativo milanese.

La prima cartografia scelta risale all'anno 1704, è una riproduzione della città di Milano prima della dominazione austriaca; la seconda mappa, invece, è quella in corrispondenza del Piano Beruto nel 1884, fondamentale nella forma urbana che la città oggi veste.

Di ciascuna data scelta, si è digitalizzata la carta tecnica e, una volta implementata sul software di *Space Syntax*, sono state calcolate l'*Axial Map* e la *Segment Map* per lo studio degli indici di *Integration*, globale e locale, e di *Choice*.

3.2.1 Milano nel 1704

La cartografia digitalizzata è quella realizzata da Daniel Stoopendaal nel 1704 e riportata in Figura 3.7. Il disegno urbanistico è analogo a quello seicentesco e sarà lo stesso fino alla fine del secolo. In questa mappa il Duomo appare completo nella planimetria e si individuano tutte le chiese principali: la Basilica di San Lorenzo Maggiore in Corso di Porta Ticinese, la Basilica di Sant'Eustorgio, Saint Nazaro Maggiore in Corso di Porta Romana, la Chiesa San Babila in Corso Venezia, la Chiesa San Marco a Nord della città e quella di Santa Maria delle Grazie in Corso Magenta; inoltre si riconosce anche l'Ospedale Maggiore, sede oggi dell'Università Statale in Via Festa del Perdono.

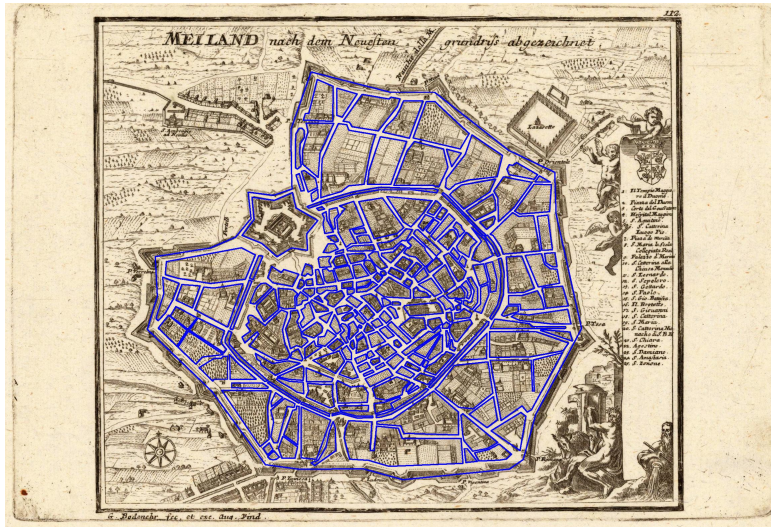


Figura 3.7: Rappresentazione della città di Milano nel 1704 digitalizzata in AutoCAD.

Nel medioevo tutte le funzioni di vita sociale avevano luogo nelle strade e i mercati si localizzavano lungo le vie centrali; a partire dal decimo secolo all'interno della città di Milano si insediavano intorno alle chiese di S. Maria Maggiore e di S. Tecla delle botteghe, dette *banca* e *stalla*, e dal tredicesimo secolo l'aspetto mercantile della zona si era rafforzato in seguito all'incremento demografico, sociale ed economico successivamente alla Pace di Costanza del 1183 [Spinelli, 1988]. La zona in cui si concentravano le cattedrali (intorno al Duomo) consolidò il proprio carattere di cuore della città e punto di aggregazione dei traffici commerciali. Accanto alle cattedrali si sviluppava il mercato costituito dalle Pescherie, le Drapperie ospitate in edifici di proprietà comunale, i banchi dei pellicciai e quelli dei vaiari che vendevano le pellicce più pregiate. A nord della basilica di S. Tecla si situava il coperto dei Borsinari dove si vendevano borse, cinture e bottoni e la contrada della *Frixaria* in cui si vendevano nastri e frange. La zona del Duomo rappresentava dunque l'unica e vera centralità di Milano [Lapini, 2015].

La ricostruzione della città di Milano fondata sulla decifrazione delle tracce topografiche proposta da Giuseppe De Finetti nel suo libro 'Milano, costruzione di una città', descrive la trasformazione del disegno della città da forma pentagonale a quella esagonale. Secondo questo studio, Milano nel Settecento può essere definita come una città quadrilatera costituita dal borgo insubrico e la città romana in cui è verosimile che non

tutti i traffici commerciali penetrassero nella città romana ma molti fossero costretti a circuirla.

Dalla Figura 3.8, che rappresenta la mappa di Stoopendaal analizzata attraverso un' *Axial Analysis* è sorprendente notare come le strade più integrate definiscano un'area al centro della città: Via dei Mercanti, che collega Piazza Cordusio con Piazza del Duomo, la piazza principale di Milano costruita nel XIV secolo, e Corso Vittorio Emanuele II, che collega la maestosa cattedrale con l'allora largo San Babila. Le altre strade che presentano un alto valore dell'indice di integrazione e sono quindi colorate di rosso nella mappa sono la via che mette in comunicazione il Duomo (da Piazza Fontana, nata sul finire del Settecento) e il Teatro alla Scala; Via Meravigli da Cordusio a Corso Magenta; Via Francesco Sforza, un tratto della cerchia dei Navigli della città. Ciò è ribadito anche nella *Segment Map* in cui le vie di comunicazione più frequentate appaiono essere il Corso Vittorio Emanuele II e alcune piccole strade che tracciano Piazza dei Mercanti, e Via Francesco Sforza e Via Senato che delineano il confine orientale della parte interna della città stessa, e l'asse di Porta Romana come si evince dalla Figura 3.9.

Global Integration, Milano 1704*Legenda*

Milano_1700_Axial [457]

- 1.0220172 - 1.223044875 [10]
- 1.223044875 - 1.32660458636 [20]
- 1.32660458636 - 1.43016429773 [37]
- 1.43016429773 - 1.53372400909 [42]
- 1.53372400909 - 1.63728372045 [61]
- 1.63728372045 - 1.74084343182 [73]
- 1.74084343182 - 1.84440314318 [68]
- 1.84440314318 - 1.94796285455 [51]
- 1.94796285455 - 2.05152256591 [54]
- 2.05152256591 - 2.15508227727 [22]
- 2.15508227727 - 2.25864198864 [14]
- 2.25864198864 - 2.3622017 [5]

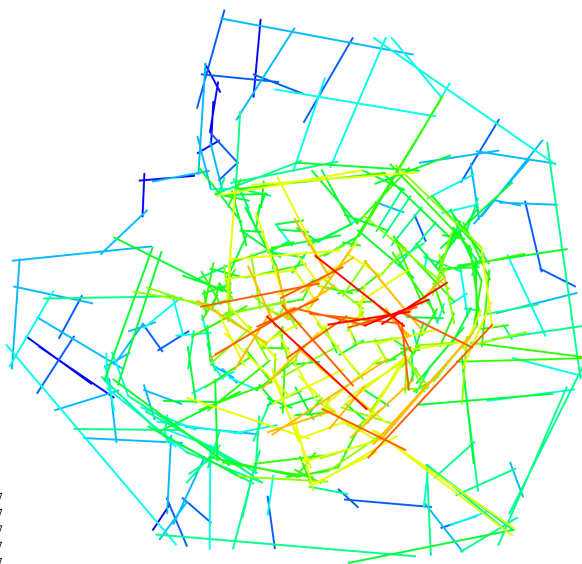


Figura 3.8: Distribuzione dell'indice di integrazione globale sull'Axial Map di Milano alla data del 1704.

Choice, Milano 1704

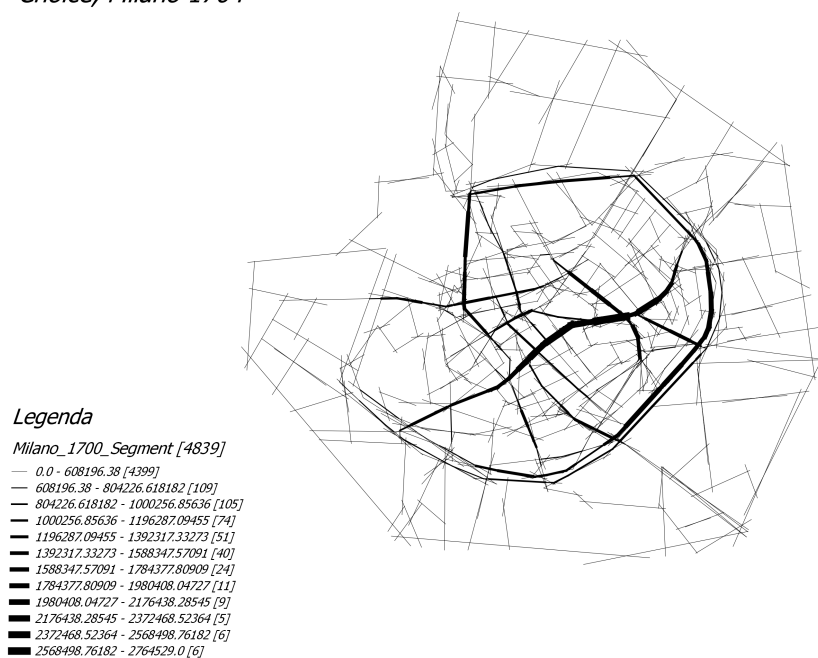


Figura 3.9: Distribuzione dell'indice di Choice sulla Segment Map di Milano alla data del 1704.

3.2.2 Milano nel 1884. Piano Beruto

La seconda cartografia digitalizzata e sottoposta ad analisi configurazionale è quella relativa al Piano Beruto nell'anno 1884, riportata in Figura 3.10.

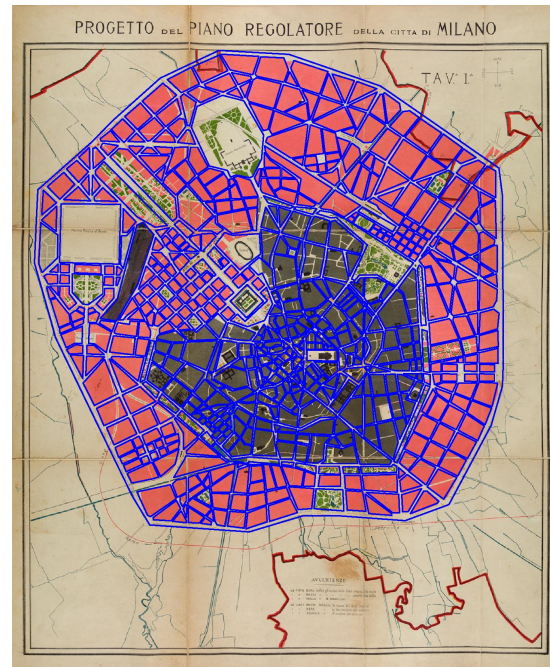


Figura 3.10: Rappresentazione del Piano Beruto nel 1884 digitalizzata in AutoCAD.

Il Piano Beruto adottava un'impostazione urbanistica che tendeva a rafforzare ulteriormente il monocentrismo, come già spiegato nel paragrafo ad esso dedicato; il piano di espansione viene definito simile “alla sezione di un albero” dall'ingegnere Beruto stesso [De Finetti, 2002]. La crescita demografica però disattese la teoria monocentrica poiché la modalità di accrescimento dello spazio urbano non fu omogenea e a cerchi concentrici ma piuttosto irregolare lungo le radiali principali fino ad incontrare l'ostacolo della cintura ferroviaria della città [Berbenni, 2010]; questo sviluppo radiale sarà fondamentale nell'analisi di tipo configurazionale che qui si affronta.

Dall'*Axial Analysis* della cartografia di Milano relativa al Piano Beruto riportata in Figura 3.11, si percepisce immediatamente come il centro originario della città, l'area del Duomo, sia ben integrata e in particolare si nota via Dante, una delle vie commerciali

più rilevanti della città. Via Dante viene aperta alla fine del XIX secolo ed è realizzata secondo le indicazioni del Piano Beruto, che a sua volta si era richiamato a precedenti idee e progetti dell'età napoleonica; infatti via Dante avrebbe dovuto costituire il prolungamento dell'asse Sempione, realizzato agli inizi dell'Ottocento per volontà di Napoleone; successivamente ai restauri del Castello però, il progetto napoleonico viene accantonato. Via Dante è stata resa totalmente pedonale nel 1996 e rappresenta una delle principali passeggiate commerciali della città di Milano, valorizzata dal fantastico arredo urbano che la contraddistingue. Prima della totale pedonalizzazione era attraversata da automobili e da diverse linee tranviarie che si innestano ora in Cordusio. L'asse che spicca più fra tutti in quanto presenta un alto valore dell'indice di Integrazione è l'asse costituito da Corso di Porta Romana che sfocia poi in Corso Lodi. Su quest'asse si affacciavano importanti edifici come l'Ospedale Maggiore, posto quindi in una posizione facilmente accessibile, e metteva in comunicazione l'interno della città con l'esterno passando per l'ingresso medievale di Porta Romana. Corso Lodi è infatti una delle strade di accesso alla città più antiche e importanti: fu chiamata tale nel giugno del 1878, quando una delibera lo assegnò al primo tratto della strada provinciale Piacentina. Durante il periodo del fascismo, assunse il nome di Corso XXVIII Ottobre al fine di ricordare la Marcia su Roma del 1922. Ancora oggi Corso di Porta Romana/Corso Lodi è considerato un asse di fondamentale rilevanza nell'assetto urbanistico della città e in quello veicolare.

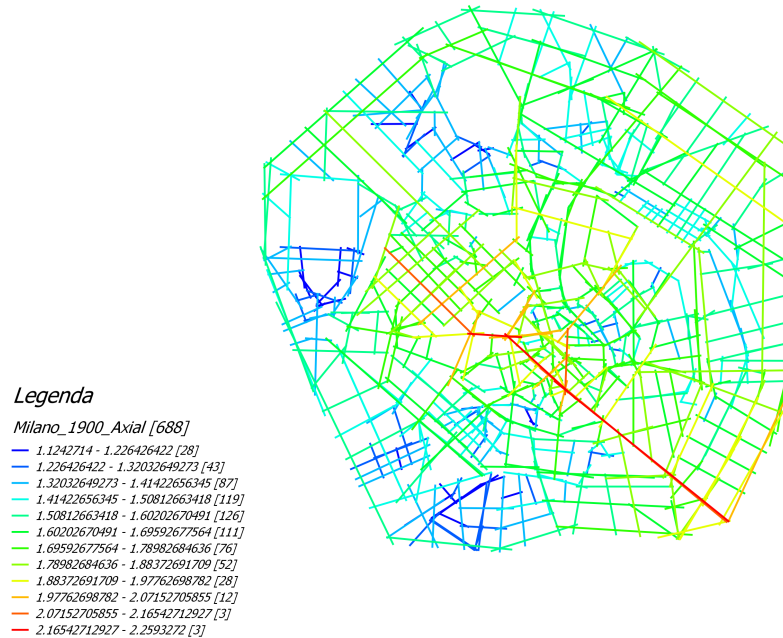
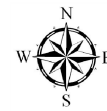
Global Integration, Milano 1884

Figura 3.11: Distribuzione dell'indice di integrazione globale sull'Axial Map di Milano del Piano Beruto.

Altre vie ben integrate sono Via Ceresio e Via Alessandro Volta, che mettono in comunicazione il centro della città con il Cimitero Monumentale, costruito in quest'epoca; Via Meravigli e Corso Magenta, come già ben integrate nella cartografia del 1704, da cui era facilmente raggiungibile la Basilica di Sant'Ambrogio, una delle più importanti ed antiche chiese della città. Dall'*Axial Map* si evince inoltre che la zona ad est del Castello Sforzesco è ben integrata a livello globale, esattamente in questa zona si sviluppa il quartiere di Moscova e Porta Garibaldi, attualmente una zona molto viva di Milano. È evidente come il criterio ispiratore del piano urbanistico sia stata la geometria in quanto solo una visione bidimensionale della città può giustificare l'apertura di specifici assi, sopra elencati, e la previsione di forme triangolari e trapezoidali; osservando la mappa del piano Beruto si nota infatti l'estrema geometria e regolarità del disegno [Denti, Mauri, 2000].

Questa geometria voluta nel Piano Beruto si riflette anche nella *Segment Map* in cui viene raffigurata la distribuzione dell'indice *Choice* in Figura 3.12: risulta evidenziata la perimetrazione della circonvallazione esterna della città (oggi ancora presente) e sono visibili gli assi radiocentrici che dal centro della città si diramano oltre le mura spagnole, partendo da sud in direzione est si individuano Corso di Porta Romana e Corso Lodi, Corso Vittorio Emanuele e Corso Venezia, Via Broletto e Corso Garibaldi, Via meravigli e Corso Magenta, Via Torino. Più nello specifico, Corso Magenta è in assoluto la strada più frequentata ed è molto interessante notare che Corso Garibaldi assume ora un alto valore di *Choice*.

Choice, Milano 1884



Legenda

Milano_1900_Segment [6673]

| | |
|---|------------------------------------|
| — | 0.0 - 1613802.58 [6303] |
| — | 1613802.58 - 2031359.89091 [66] |
| — | 2031359.89091 - 2448917.20182 [49] |
| — | 2448917.20182 - 2866474.51273 [47] |
| — | 2866474.51273 - 3284031.82364 [86] |
| — | 3284031.82364 - 3701589.13455 [62] |
| — | 3701589.13455 - 4119146.44545 [34] |
| — | 4119146.44545 - 4536703.75636 [10] |
| — | 4536703.75636 - 4954261.06727 [6] |
| — | 4954261.06727 - 5371818.37818 [5] |
| — | 5371818.37818 - 5789375.68909 [2] |
| — | 5789375.68909 - 6206933.0 [3] |

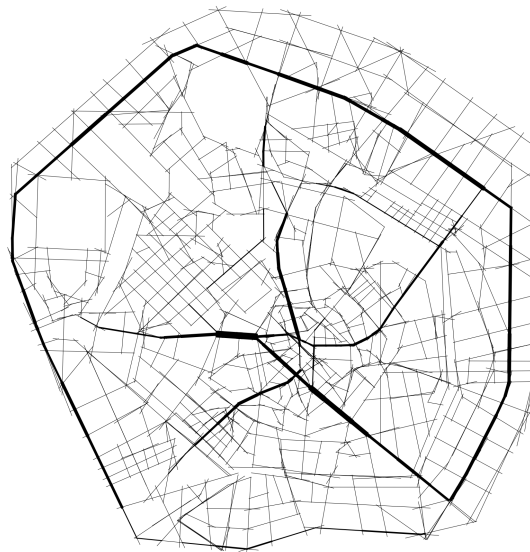


Figura 3.12: Distribuzione dell'indice di Choice sulla Segment Map di Milano del Piano Beruto.

3.2.3 Correlazioni spaziali delle due epoche

Come ampiamente spiegato nel primo capitolo, gli indici di sinergia e intelligibilità sono fondamentali per la lettura dello spazio urbano; sono correlazioni tra due indici configurazionali che permettono di apporre delle valutazioni sulle caratteristiche del tessuto urbano e di confrontare strutture urbane differenti. In questo caso l'obiettivo è quello di analizzare la differenza tra la struttura urbana della città di Milano nel Settecento e alla fine dell'Ottocento mediante questi indici di regressione.

L'indice di sinergia misura quanto un gruppo di elementi influenza l'intera struttura ed è definito dalla correlazione tra l'indice di integrazione locale e quello di integrazione globale. È quindi un ottimo indicatore della resilienza di una struttura urbana. In letteratura è riportato che una stretta corrispondenza tra integrazione globale e integrazione locale può essere assunta come un indizio di solidità dell'intero sistema: in tale caso, una perturbazione locale non altererà presumibilmente in misura significativa la distribuzione dell'accessibilità su scala locale, in quanto questa è saldamente ancorata a quella globale. Al contrario, una trasformazione locale di un sistema debolmente correlato causerà probabilmente alterazioni significative all'assetto configurazionale di ambito locale. Perciò la resilienza, intesa come capacità di una struttura di adattarsi alle perturbazioni esterne senza subire modifiche significative, risulterà tanto maggiore quanto più il valore del coefficiente di determinazione R^2 risulta vicino a 1.

Si considerano le figure sottostanti dei grafici di regressione inerenti alla sinergia (Figura 3.13 e Figura 3.14), in successione cronologica.

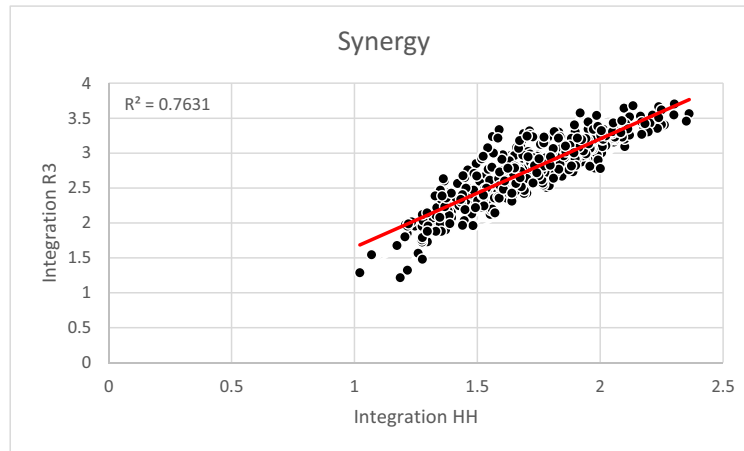


Figura 3.13: Sinergia relativa alla città di Milano nel 1704. $R^2 = 0.763$.

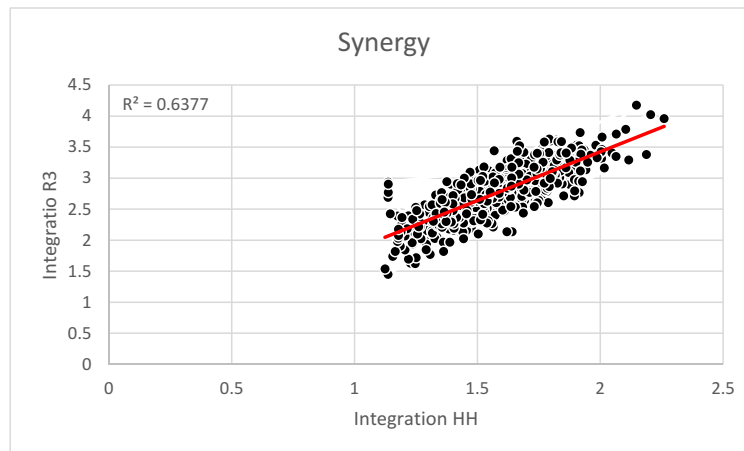


Figura 3.14: Sinergia relativa alla città di Milano nel 1884. $R^2 = 0.638$.

Nel Settecento, la struttura urbana della città può essere definita abbastanza resiliente in quanto dall'analisi configurazionale risulta avere un coefficiente di correlazione piuttosto alto. Questo è giustificato dal fatto che la forma della città ha un aspetto che si può definire labirintico e offre quindi diverse alternative per spostarsi da un punto ad un altro della città stessa. Con le indicazioni pianificate da Beruto, la città diventa meno resiliente, come dimostrato dal valore del coefficiente di correlazione minore rispetto a prima. Ciò è dovuto all'aumento di dimensioni della città che complica maggiormente

la sinergia tra gli elementi e allo sviluppo radiale voluto dall'ingegnere Beruto che porta la città a far riferimento a specifici assi radiali.

L'indice di intelligibilità, invece, rappresenta una proprietà chiave dell'analisi spaziale in quanto descrive il grado di comprensibilità di un sistema; misura la relazione tra lo spazio urbano globale e le caratteristiche locali ed è esprimibile come il grado di correlazione tra i valori di connettività (misura locale) e di integrazione globale (misura globale). È stato dimostrato che una alta correlazione tra la connettività e l'integrazione globale garantisce che la configurazione spaziale sia comprensibile e prevedibile per i pedoni e gli automobilisti. Un valore alto dell'indicatore implica quindi la capacità di muoversi facilmente sull'intero sistema avendo delle informazioni riguardanti la connettività locale. Se la correlazione è debole, al contrario, il sistema risulta poco chiaro e di difficile comprensione [Cutini, 2014a].

Osservando i grafici in Figura 3.15 e 3.16 si nota che anche il valore della correlazione tra gli indici di integrazione globale e connettività diminuisce tra le due epoche considerate in sequenza cronologica. Entrambi i valori possono essere considerati bassi, questo sta ad indicare che la forma urbana della città di Milano non è di così facile comprensione; allo stesso tempo l'abbassamento della pendenza sta a significare una riduzione generalizzata della leggibilità del layout urbano.

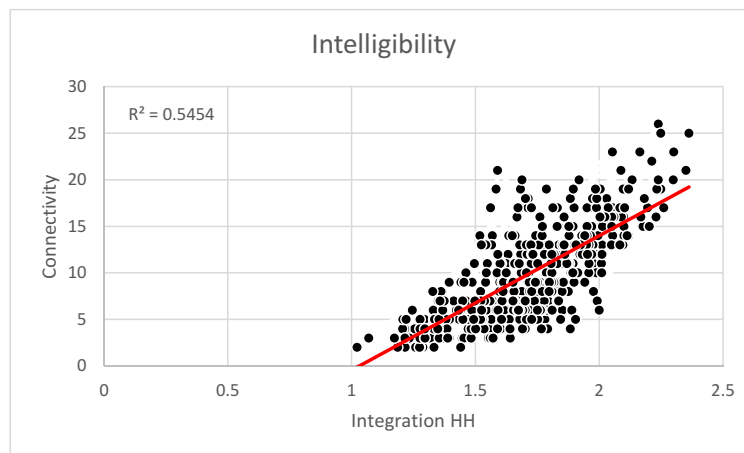


Figura 3.15: Intelligibilità relativa alla città di Milano nel 1704. $R^2 = 0.545$.

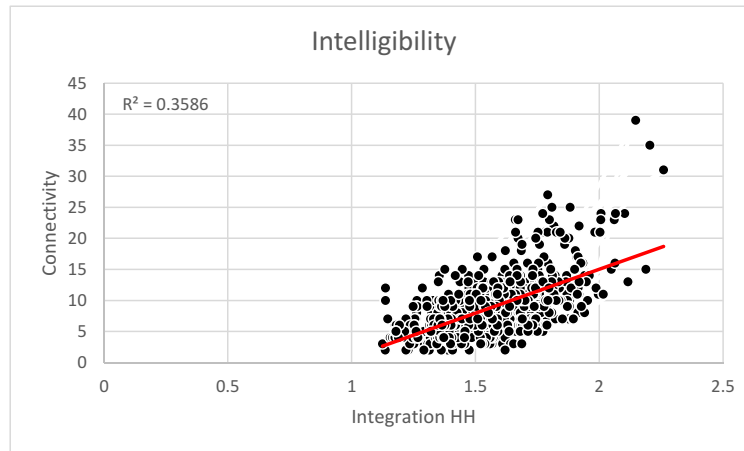


Figura 3.16: Intelligibilità relativa alla città di Milano nel 1884. $R^2 = 0.359$.

In questi layout, l'indice di integrazione non è fortemente correlato con l'indice di connettività, in quanto le vie rettilinee più integrate che compongono l'*Axial Map* sono alcune lunghe, con un alto valore di connettività, mentre altre corte con poche intersezioni con altre linee.

Allo stesso modo, in tali reti urbane, l'indice di integrazione risulta poco correlato con l'indice di scelta: la correlazione tra queste due variabili è indice del grado per cui l'accessibilità di uno spazio come destinazione da tutte le possibili origini, e quindi la distanza topologica o il numero di *steps* che lo separano da tutti gli altri elementi del layout, sia effettivamente una buona indicazione della popolarità che tale spazio possiede, intesa come frequenza con cui tale luogo ricade nei percorsi, i più brevi, che collegano ogni punto a tutti gli altri punti. In entrambi i casi, Milano nel 1704 e Milano nel 1884, la correlazione tra i due indici di integrazione e scelta è molto debole; il coefficiente di correlazione varia infatti tra 0,25 e 0,28, come mostrato nelle Figure 3.17 e 3.18. È possibile giustificare la debole correlazione tra questi indici rifacendosi alla struttura non regolare in modo omogeneo della città.

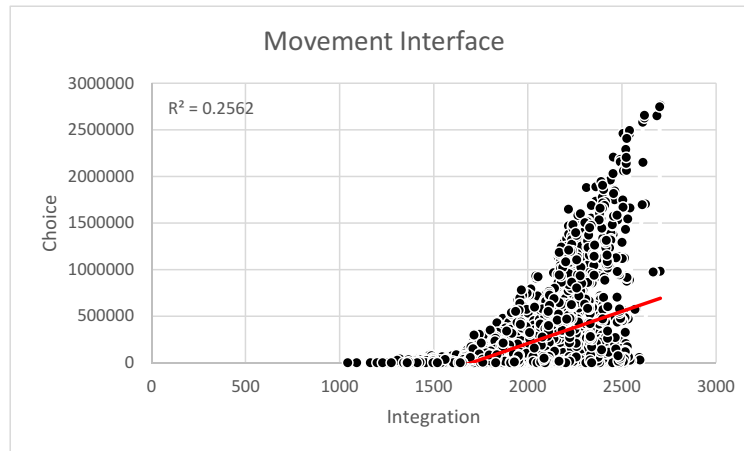


Figura 3.17: Movement Interface relativa alla città di Milano nel 1704. $R^2 = 0.256$.

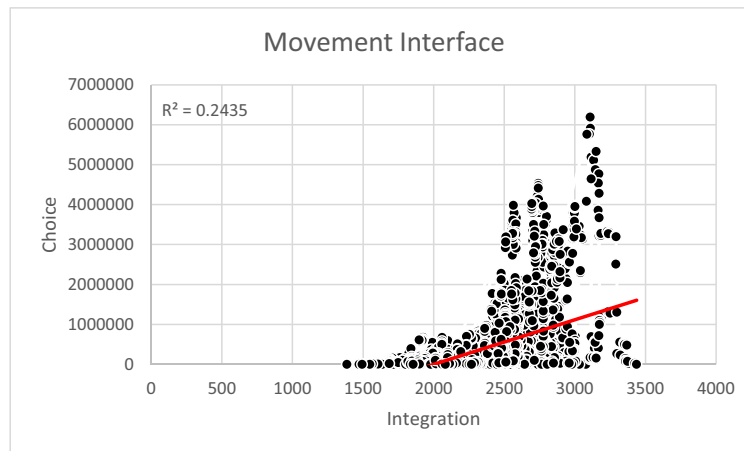


Figura 3.18: Movement Interface relativa alla città di Milano nel 1884. $R^2 = 0.243$.

Oltre al valore di sinergia utilizzato per comprendere la capacità del sistema di reagire a certi cambiamenti, è possibile calcolare un coefficiente noto come *Coefficient V*. Considerando che la caratteristica di resilienza di una struttura è dettata dalla quantità di alternative possibili per spostarsi da un punto di origine ad un punto di destinazione, questa proprietà può essere rappresentata dal livello di distribuzione dei tragitti più brevi: il sistema caratterizzato da una distribuzione omogenea e diffusa di percorsi brevi su tutta la griglia urbana è definito un sistema resiliente in quanto offre diverse e

non connesse possibilità di movimento tra diverse posizioni; al contrario, un sistema è considerato vulnerabile se descritto da una densa concentrazione di percorsi brevi che coinvolgono un numero limitato di elementi spaziali della griglia. Come spiegato nel capitolo 1, questo concetto è esprimibile dal rapporto tra il valore dell'indice di scelta più alto (ottenuto dall'analisi spaziale) e il massimo valore teorico dell'indice di scelta (indicato con k), il *Coefficient V*:

$$V = \frac{\text{choicemax}}{k} \quad (3.1)$$

dove $k = \frac{n^2}{2} - \frac{3}{2}n + 1$.

Nel caso della struttura di Milano nel Settecento il valore del coefficiente risulta essere pari a 0,206 mentre per la seconda mappa si ottiene un valore di 0,226; i due valori risultano essere bassi e confermano il grado di resilienza del sistema suggerito dall'indice di secondo ordine (*Synergy*).

Capitolo 4

Analisi configurazionale su Milano

Una volta descritti i principali indici dell'analisi configurazionale, studiato il loro significato e analizzato la loro distribuzione nell'analisi diacronica di Milano, in questo capitolo si vuole applicare la *Space Syntax Analysis* alla struttura urbana della città di Milano aggiornata ai giorni d'oggi. La decisione di analizzare proprio la città di Milano è dovuta a molti fattori; innanzitutto, la morfologia urbana della città è estremamente complessa ed è quindi difficile attribuirle a schemi e forme urbane che sono note e predefinite; secondo poi, Milano è piana e non presenta forti cambiamenti di pendenza del suolo, di conseguenza si presta in modo efficiente all'analisi di *Space Syntax*, che non è appunto in grado di considerare l'altimetria della struttura in oggetto. Un ultimo motivo ma non meno importante, è relativo all'assenza di questo tipo di studio sulla città milanese; il modello configurazionale di *Space Syntax* è già stato applicato in contesti europei ed extra europei, l'esempio chiave è il caso di studio dell'ingente città di Londra. Risulta dunque molto interessante e curioso osservare come l'analisi configurazionale possa essere applicata a Milano e analizzare i risultati da essa forniti, utili poi per affiancare decisioni in pianificazioni urbanistiche strategiche. Un'ennesima motivazione che ha portato alla scelta di quest'area come il caso di studio di questo lavoro è il cambiamento dinamico che il capoluogo lombardo ha subito in termini urbanistici (da qui il desiderio di effettuare un'analisi diacronica del tessuto urbano della

città, descritta nel capitolo precedente) e le grandi sfide di pianificazione urbana che la città di Milano si ritrova ad affrontare in questi anni.

Milano conta un numero di abitanti pari a 1 344 110 su una superficie di circa 182 chilometri quadrati; capoluogo dell'omonima città metropolitana e della regione Lombardia, secondo comune italiano per numero di abitanti e tredicesimo nell'Unione Europea.

Lo studio che segue sarà costituito da una prima fase in cui verrà eseguita l'analisi configurazionale del layout considerato, analizzando gli indici quantitativi; successivamente, si cercherà di capire come la distribuzione degli indici è cambiata nel tempo, e infine si passerà alla verifica della corrispondenza tra i risultati ottenuti e la realtà.

4.1 Definizione del sistema

Come spiegato precedentemente, la definizione del confine del sistema su cui viene implementata un'analisi spaziale non è una semplice procedura.

Secondo la classificazione illustrata nel capitolo 2, si è deciso di adottare il terzo metodo per la definizione del sistema: si è considerata l'intera città di Milano delimitata dai suoi confini amministrativi. Questa scelta è giustificata da diversi motivi.

Definire il confine del sistema tenendo conto dei collegamenti sia strutturali che funzionali tra l'interno della città di Milano e l'esterno è un argomento molto vasto e caratterizzato da incertezze. Una soluzione pensata per il caso di studio in questione è stata quella di costruire un *buffer* di 2 km intorno al confine amministrativo della città di Milano come suggerito dal secondo metodo di Park; questo tipo di soluzione, però, ha riscontrato problemi nella computazione da parte del software *Depthmap* e inoltre non avrebbe comunque risolto il problema originario del confine del sistema. Si è deciso quindi, di adottare il confine amministrativo della città di Milano in quanto rappresenta un limite fisico oggettivo, non soggetto ad analisi interpretative che potrebbero portare a possibili alterazioni indesiderate del risultato.

Inoltre a favore della scelta del confine qui stabilito interviene una considerazione portata avanti da Park secondo cui le strutture urbane possono dividersi in due tipologie: quelle chiamate *assortative* se gli elementi del grafo tendono ad essere connessi ad elementi con un alto valore di connettività, in altre parole nodi con lo stesso grado di

connettività tendono ad essere connessi tra loro; in questo tipo di struttura l'indice di connettività diminuisce di valore dal centro del sistema alla periferia, e lo stesso vale per l'indice di integrazione. La seconda tipologia è detta *dissortative* in cui si verifica esattamente il contrario: la connettività e l'integrazione risultano essere maggiori nelle zone periferiche. Nel primo tipo di struttura l'entità degli effetti del confine sui valori degli indici configurazionali sarà minore rispetto al secondo caso in quanto i livelli maggiori si concentrano al centro del sistema. Analizzando la mappa della città di Milano, si può definirne un sistema *assortative*. Inoltre, considerando la presenza di aree verdi nell'intorno della città, in particolare nella zona meridionale, ampliare il confine non avrebbe portato a differenti risultati; questo però non vale per la parte settentrionale del sistema.

Il software utilizzato per affrontare l'analisi configurazionale della città richiede come dato in input un file in formato *dxf*, una variante del formato *dwg* del software di disegno AutoCAD. Avendo a disposizione la carta tecnica digitale del comune di Milano (dal sito archiweb) e la mappa tecnica in tipologia raster, si è proceduto alla elaborazione del dato in ingresso (Figura 4.1). La metodologia di digitalizzazione adottata consiste nel disegnare l'ingombro al suolo degli edifici facendo attenzione che tutti i poligoni siano chiusi e controllare che l'intero sistema sia limitato da un confine continuo e chiuso. Inoltre, le stazioni ferroviarie e i parchi verdi sono stati considerati come luoghi chiusi, eccetto il parco Sempione e la zona di City Life per le loro dimensioni notevoli, e il Cavalcavia Adriano Bacula chiuso ai pedoni.



Figura 4.1: Rappresentazione della città di Milano in AutoCAD.

4.2 Analisi configurazionale: gli indici più significativi

Di fondamentale importanza nell'analisi di un layout urbano è comprendere se la griglia urbana in questione presenta un forte carattere di irregolarità; tale caratteristica emerge in particolare dal valore dell'indice di connettività: nel caso di strutture irregolari e poco resilienti, il valore medio di tale indice assume valori molto bassi; mentre nel caso di strutture robuste, il valore della connettività media è maggiore. Nel caso di Milano il valore di connettività media risulta essere pari a 8,705; tenendo conto del numero elevato di *lines* che costituiscono la mappa, questo valore può essere considerato relativamente

alto, il che porta a definire la città connessa da un punto di vista configurazionale. A conferma di ciò, si può osservare come le linee altamente connesse si distribuiscano sulla griglia in maniera piuttosto omogenea: non risulta esserci una zona di accentramento delle linee più connesse ma queste sono sparse sul territorio come si nota dalla Figura 4.2.

Connectivity, Milano oggi



Figura 4.2: Distribuzione dell'indice di connettività sulla città di Milano.

L'altro indicatore fondamentale nello studio di una struttura urbana secondo l'approccio configurazionale è quello di *Integration* in quanto indica il grado di accessibilità di una strada in relazione a tutte le altre presenti nel sistema. Il caso studio che si sta analizzando presenta una griglia ben integrata, nella quale è necessario cambiare direzione un numero di volte mediamente basso nello spostamento da un punto di origine ad uno di destinazione. Dall'istogramma in Figura 4.3 si può notare la distribuzione del numero dei nodi del grafo duale che rappresenta la griglia di Milano sui valori dell'indi-

ce di integrazione: non risulta esserci un picco o un intervallo di valori di integrazione piccolo in cui si concentrano gli elementi del grafo, ma sembra essere una distribuzione più omogenea che concentrata; a conferma di ciò il basso valore della standard deviation dell'indice pari a 0,198. La mappa in Figura 4.4, risulta infatti essere colorata prevalentemente sui toni che vanno dall'arancione al rosso (corrispondenti ad alti valori dell'indicatore). Al fine di avere una corrispondenza nella realtà, si individuano le strade e le zone maggiormente integrate secondo il modello configurazionale: tutta l'area a nord del centro di Milano, che comprende il Parco Sempione, la cosiddetta ChinaTown, Moscova e Garibaldi, risultano essere molto ben integrate nella griglia; oltre alla stazione di Garibaldi, anche le stazioni Centrale e Porta Romana sono facilmente accessibili in quanto presentano un alto valore dell'indice di integrazione.

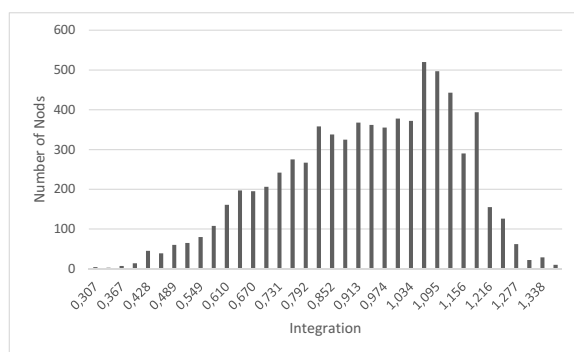


Figura 4.3: *Distribuzione del numero dei nodi (assi stradali) sul valore dell'indice di integrazione.*

È interessante notare che il percorso più rettilineo possibile che mette in comunicazione le due stazioni è molto integrato nella struttura, passa infatti per alcune delle zone più accessibili e frequentate della città di Milano: da Piazzale Loreto, percorrendo Viale Abruzzi, che attraversa la parte orientale della città verticalmente, e Viale Umbria, arrivando a Corso Lodi che sfocia in Corso di Porta Romana in direzione interna (tutte strade che costituiscono parte dell'attuale circonvallazione esterna della città). Nella zona sud di Milano spicca di rosso anche Via Beatrice D'Este, che collega la stazione di Lodi con l'Università Bocconi e la zona dei Navigli, molto frequentata dalla gioventù milanese. Ben integrate sono anche la zona Conciliazione e Pagano e la zona Cadorna in cui risiede la Triennale di Milano, un'istituzione culturale internazionale che produce mostre, convegni ed eventi di arte, design, architettura, moda, cinema e intrattenimento.

In generale tutta la circonvallazione interna (le ex Mura Spagnole) presentano un alto livello di integrazione globale e nel centro della città spiccano Via Dante e Via Orefici, che collegano il Castello Sforzesco con Piazza Duomo, e Corso Italia, che dal centro della città porta alla parte meridionale della stessa.

Global Integration, Milano oggi

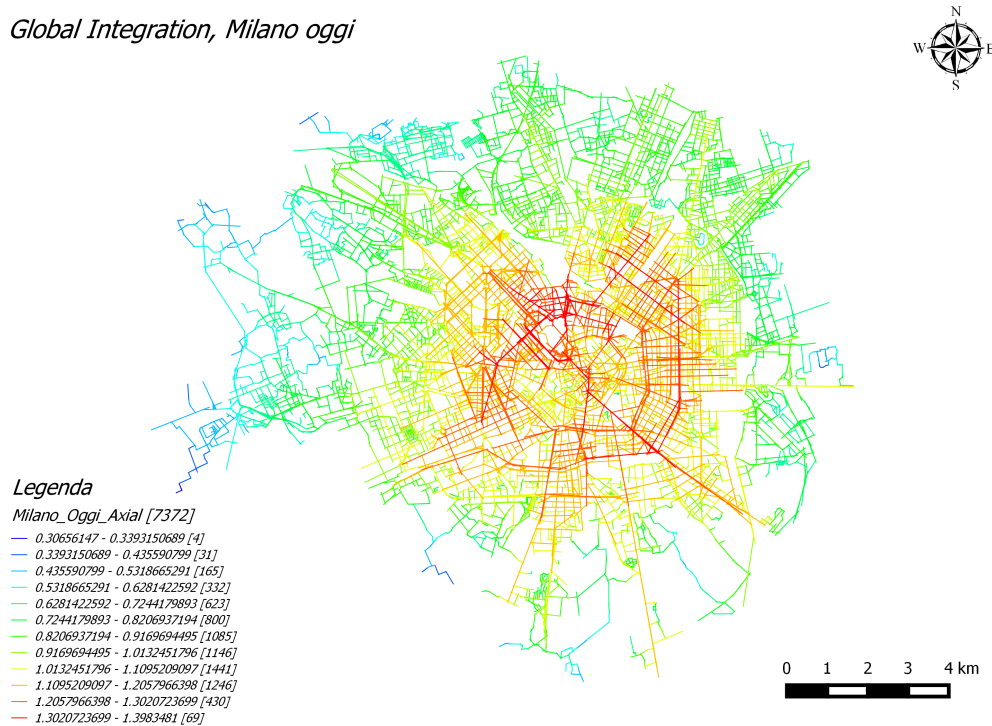


Figura 4.4: Distribuzione dell'indice di integrazione globale sulla città di Milano.

La correlazione che sussiste tra i due indicatori sopra analizzati è di fondamentale importanza nell'analisi configurazionale di un sistema in quanto permette di comprendere la semplicità con cui la forma della struttura stessa si mostra all'osservatore, ovvero il modo in cui il complesso di spazi può essere più o meno facile da comprendere e percorrere. L'*Intelligibility*, appunto, misura la relazione tra lo spazio urbano globale, rappresentato dall'indice di integrazione globale, e le caratteristiche locali, delineate dal valore di connettività delle linee assiali; un valore alto dell'indicatore implica quindi la capacità di muoversi facilmente nell'intero sistema. Se la correlazione è debole, al

contrario, il sistema risulta poco chiaro e di difficile comprensione. Nel caso della città di Milano, la correlazione è molto debole: il valore del coefficiente R^2 è pari a 0,252, come mostrato in Figura 4.5. La forma urbana milanese è quindi di difficile comprensione; ciò può essere determinato innanzitutto dalla dimensione del sistema che si sta considerando, ma anche dallo sviluppo radiale e dalla presenza di zone maggiormente regolari e altre, invece, con una struttura che potrebbe essere definita labirintica.

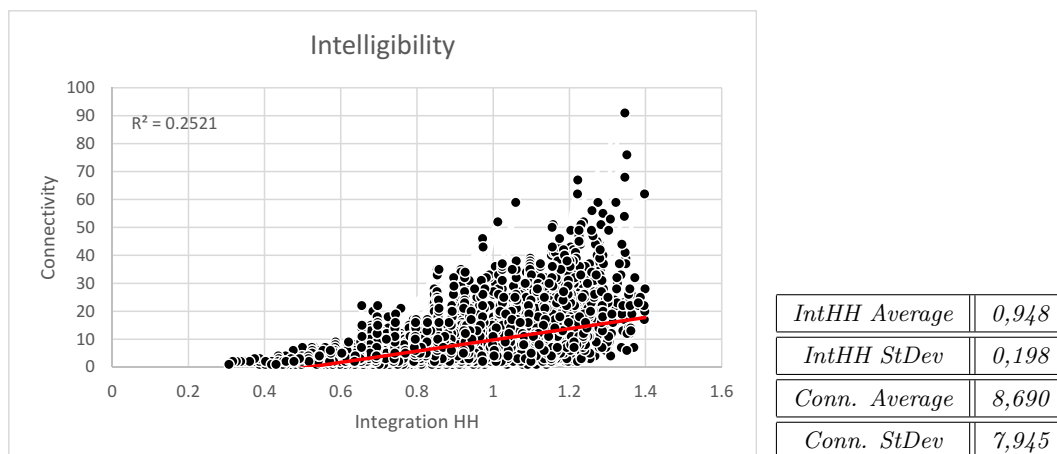


Figura 4.5: Correlazione tra gli indici configurazionali di integrazione e connettività sulla città di Milano. $R^2 = 0.252$.

La comprensibilità di una struttura urbana può essere rappresentata oltre che dal valore di *Intelligibility*, anche dal *Movement Interface* espresso dalla correlazione tra l'indice di *Global Integration* e quello di *Choice*. Come primo passo, si analizza la distribuzione dell'indice *Choice* sul caso di studio in esame: nell'*Axial Map* (Figura 4.6) le strade più scelte risultano essere Viale Abruzzi, fondamentale via di comunicazione tra la parte nord e quella sud della città orientale; Viale Brianza, che dal Piazzale Loreto porta alla Stazione Centrale; Viale Zara e Viale Fulvio Testi che sfociano nel quartiere Bicocca dove giunge la nuova metropolitana lilla inaugurata nel 2013; Via Beatrice D'Este nel quartiere Ticinese a sud della città e Via Mario pagano, dal Parco Sempione al quartiere Wagner. Nella *Segment Map*, in cui ogni linea viene spezzata in corrispondenza di ogni intersezione con le altre linee, risalta maggiormente l'affluenza nel centro storico e le vie più frequentate sono parti della circonvallazione esterna, e anche la zona di Porta Venezia, e Corso Magenta e Via Meravigli al centro della città (Figura 4.7).

Choice (Axial), Milano oggi

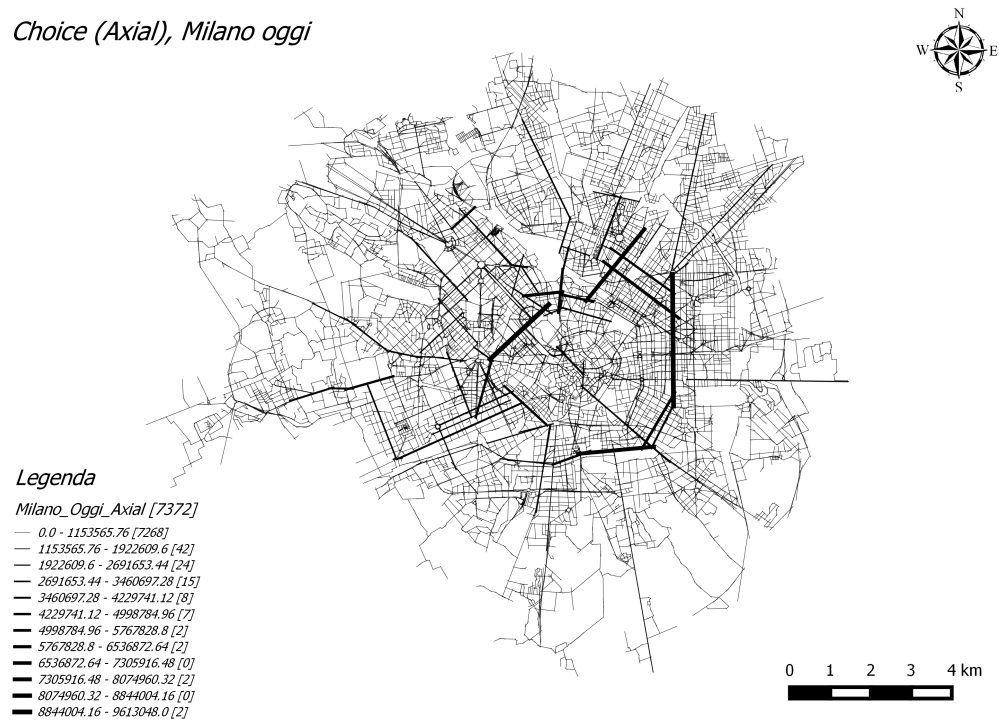


Figura 4.6: Distribuzione dell'indice di Choice sull'Axial Map della città di Milano.

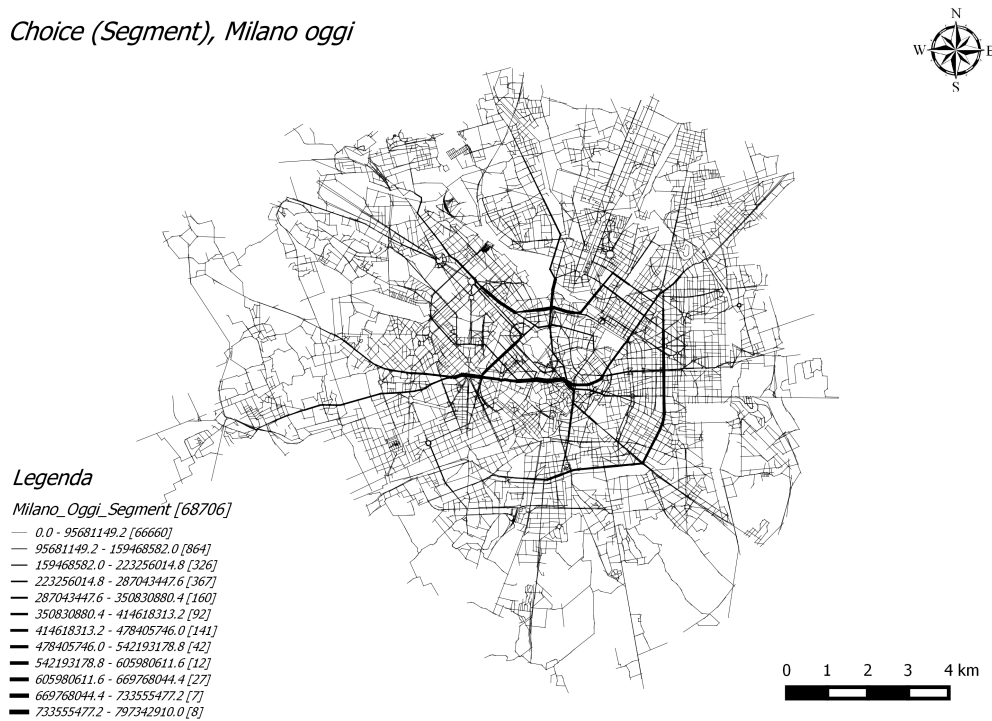
Choice (Segment), Milano oggi

Figura 4.7: Distribuzione dell'indice di Choice sulla Segment Map della città di Milano.

La correlazione tra gli indici di *Choice* e di *Global Integration* conferma quanto dimostrato dall'*Intelligibility* sopra studiata: la forma urbana della griglia della città di Milano è di difficile comprensione.

Oltre a confermare quanto ottenuto dallo studio dell'*Intelligibility*, l'informazione fornita dal *Movement Interface* aggiunge il livello di differenza tra coloro che conoscono bene la città in questione e coloro che la esplorano per la prima volta. Se nelle aree intelligibili, infatti è l'indice di *Integration*, spesso ben correlato a quello di *Choice*, a fornire un'indicazione sul flusso dei pedoni, più complicata diventa la situazione nel caso di layout non intelligibili. In tali layout diventa necessario fare una distinzione tra gli abitanti, che hanno una buona conoscenza del luogo, e i turisti, che dispongono della sola percezione dell'intorno in cui si trovano. Nelle condizioni in cui il coefficiente di correlazione tra l'indice di *Choice* e quello di *Global Integration* è molto basso, il valore dell'indice

di *Choice* mette in luce due tipi di movimento: il movimento dei residenti locali, che seguirà le linee con indice di *Choice* più elevato, quindi quelle più brevi e frequentate; il movimento dei turisti che sarà casuale e solo alla fine tratterà alcuni dei tragitti più percorsi, con indice di *Choice* elevato. Tanto più il sistema è intellegibile, tanto più il movimento dei turisti ricadrà nelle vie più integrate e connesse a livello globale.

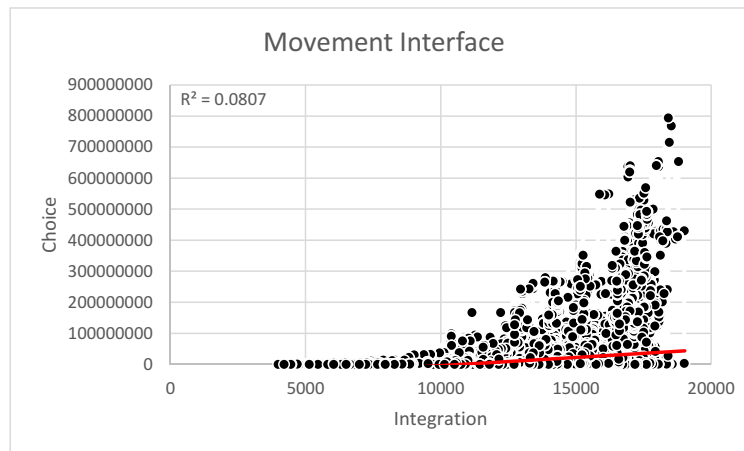


Figura 4.8: Correlazione tra gli indici configurazionali di *Integration* e *Choice* sulla città di Milano. $R^2 = 0.081$.

Se si osservano ancora i grafici delle Figure 4.5 e 4.8 in cui vengono rappresentate le due correlazioni lineari che descrivono il livello di comprensibilità del sistema in esame, sembra che la correlazione tra gli indici sia una correlazione di tipo esponenziale piuttosto che lineare. Effettivamente si nota che il coefficiente di correlazione aumenta passando dal valore di 0,252 nella corrispondenza lineare tra l'indice di *Global Integration* e l'indice di *Connectivity* al valore di 0,341 in quella esponenziale, mostrata in Figura 4.9.

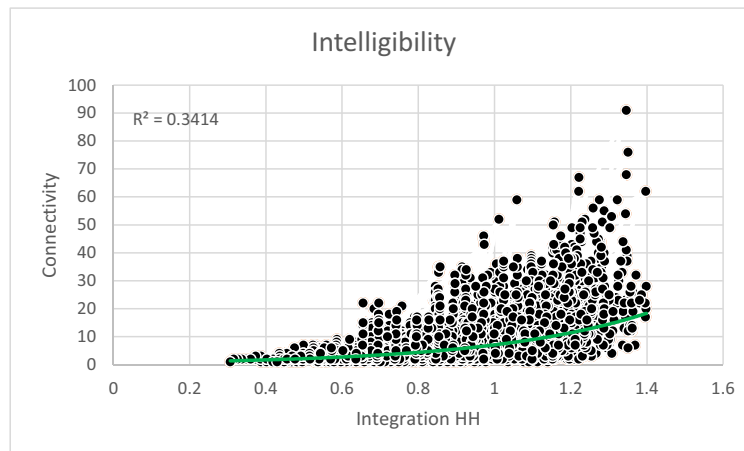


Figura 4.9: Legame esponenziale tra gli indici configurazionali di integrazione e di connettività. $R^2 = 0.341$.

Nonostante l'andamento tenda ad essere esponenziale piuttosto che lineare, la correlazione tra gli indici sopra considerati rimane comunque debole; il livello di comprensibilità della città di Milano risulta essere basso.

Accanto al livello di comprensione di una griglia urbana, un'altra proprietà intrinseca di un insediamento è la resilienza urbana che descrive la sua capacità nel sostenere perturbazioni di diversa natura senza subire grandi modifiche. Un insediamento urbano può essere definito resiliente se caratterizzato da una vasta varietà di percorsi di collegamento tra i punti di origine e i punti di destinazione, in quanto una singola trasformazione locale non modifica l'assetto configurazionale del sistema in modo significativo. Questa caratteristica può essere descritta dal *Coefficient V*: nel caso della griglia urbana di Milano è pari a 0,354; più tendente al valore 0 che al valore 1; ciò sta ad indicare una distribuzione abbastanza omogenea dei percorsi più brevi e quindi una buona capacità di assorbire perturbazioni dell'assetto configurazionale senza subire ingenti modifiche da parte della città di Milano.

Al fine di constatare se davvero la struttura urbana di Milano è resiliente, si considera un altro parametro configurazionale di secondo livello in grado di esprimere la capacità del sistema di accogliere e assorbire perturbazioni locali: la forza della correlazione fra indici di integrazione a diversa scala. Essendo l'indice di integrazione la riproduzione della distribuzione della centralità di una griglia, la corrispondenza tra l'indice di integrazione

globale e quello di integrazione locale può essere considerata come un indicatore di solidità dell'intero sistema. Se questa correlazione è elevata, allora il sistema è solido a livello globale; al contrario, se la correlazione risulta essere debole, il sistema non può essere considerato resiliente.

La struttura urbana di Milano presenta una correlazione tra l'indice di integrazione di raggio n (indice globale) e l'indice di integrazione di raggio topologico pari a 3 (indice locale) che potrebbe essere definita solida, data la grandezza del sistema in esame; il coefficiente di correlazione è infatti pari a 0,596 (Figura 4.10).

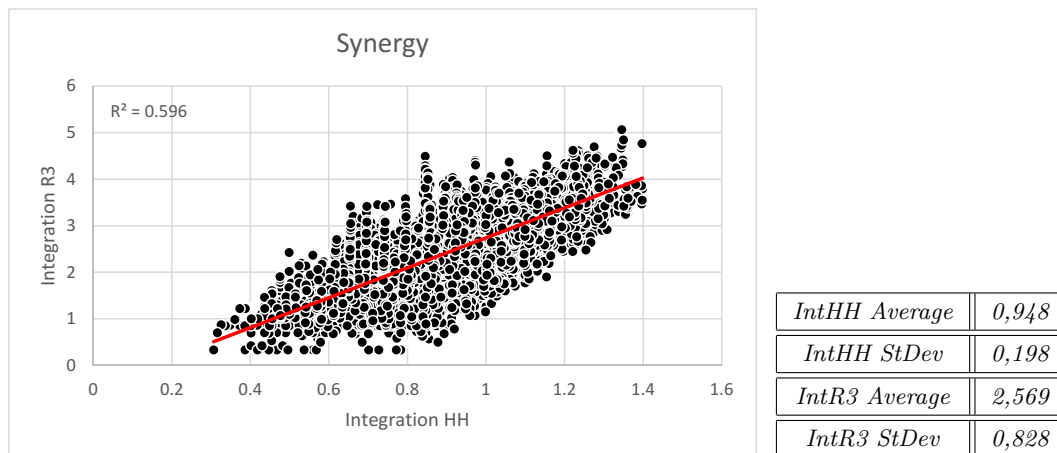


Figura 4.10: Correlazione tra gli indici configurazionali di integrazione globale e integrazione locale sulla città di Milano. $R^2 = 0.596$.

Da una prima analisi configurazionale della sua griglia urbana, la città di Milano risulta essere poco comprensibile agli occhi dei pedoni a causa della sua struttura complessa e caratterizzata da zone più regolari e zone invece più labirintiche. Al contempo Milano è una città in grado di assorbire eventuali trasformazioni locali con limitate modifiche della sua struttura, presentando un valore di resilienza piuttosto alto.

4.3 Confronto col passato: evoluzione dell'Integration Core, centralità e multicentralità

Analizzando l'evoluzione urbana della città di Milano dal Settecento a oggi attraverso l'analisi configurazionale, è possibile notare alcuni aspetti fondamentali della città e della sua evoluzione insediativa.

La città di Milano può sicuramente essere definita come una struttura poco comprensibile; il coefficiente di correlazione tra gli indici di *Integration* e di *Connectivity* e il valore di *Movement Interface* sono molto bassi in tutte le tre mappe studiate. Il coefficiente di *Intelligibility* diminuisce nel tempo passando dal valore di 0,545 della Milano del 1700 a quello di 0,252 della Milano aggiornata ai giorni d'oggi; anche il valore di *Movement Interface* è molto basso nelle prime due rappresentazioni della città e diminuisce di molto, assumendo un valore quasi pari a zero nella griglia milanese attuale. Si può dunque affermare che la città di Milano non è di facile comprensione e la sua struttura configurazionale non è facilmente memorizzabile.

Al contrario, la città milanese si presenta come una città resiliente, in grado di assorbire perturbazioni locali senza che vi siano modifiche significative dell'assetto configurazionale. La corrispondenza tra l'indice di integrazione globale e l'indice di integrazione locale è elevata in tutte le rappresentazioni cartografiche analizzate: diminuisce da 0,763 nel Settecento al valore di 0,596 di oggi, a causa soprattutto dell'aumento dell'estensione della griglia. A confermare la capacità di assorbire disordini, è il valore del *Coefficient V*, che esprime quanto sia la ricchezza di alternative di percorsi da un punto di origine ad un punto di arrivo: assume un valore minore di 0,5 per tutte le mappe considerate.

Si può quindi concludere che la città di Milano è una città difficilmente comprensibile e quindi di difficile memorizzazione da parte degli utenti, ma al contempo risulta essere resiliente e quindi in grado di ammortizzare eventuali cambiamenti dell'assetto configurazionale. Questo viene confermato inoltre dal valore di *Mean Connectivity* che rimane alto nel corso del tempo indicando un'elevata connessione tra le linee della città di Milano.

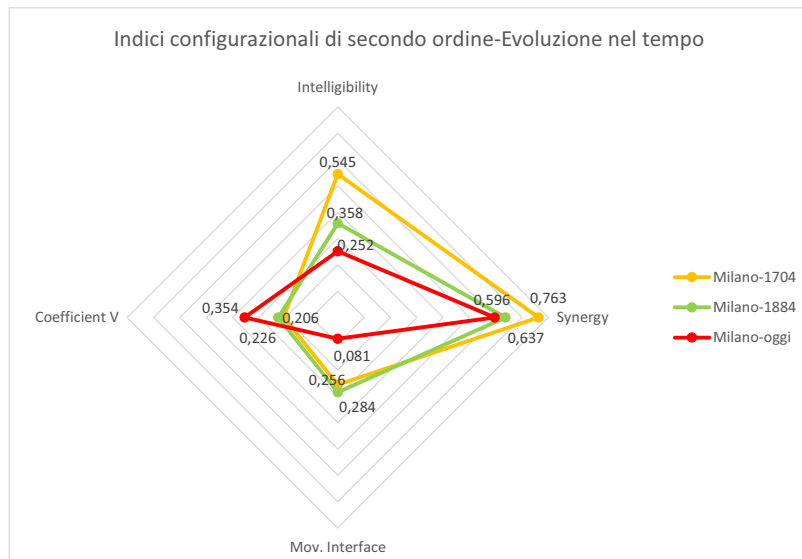


Figura 4.11: Grafico radar: evoluzione degli indici configurazionali sulla città di Milano.

Attraverso l'applicazione dell'analisi configurazionale, è possibile valutare il movimento della centralità urbana in termini diacronici, analizzando lo spostamento del nucleo di integrazione dalla prima all'ultima mappa. La centralità è "la proprietà conferita ad una città di offrire beni e servizi a una popolazione esterna", definizione che Walter Christaller propose nella "Teoria dei luoghi centrali" nel 1933. Il concetto si è generalizzato ed evoluto nel 1972 con Manuel Castells, un sociologo che afferma che "la centralità è la combinazione, a un dato momento, di attività economiche, funzioni politiche e amministrative, pratica sociale, rappresentazione collettiva, che concorrono al controllo e alla regolazione dell'insieme della struttura della città". L'idea fondamentale è quella che il centro deve raggruppare le funzioni principali economiche, politiche e ideologiche attraverso delle reti di trasporto e di telecomunicazione. Nell'evoluzione dell'urbanistica si passa dalla centralità unica concentrata in una zona limitata ad una rete di nodi urbani, arrivando quindi a quella che oggi può essere definita *multicentralità* delle città odierne.

Nella letteratura, la modellistica classica mostra come sia la ricerca del massimo grado possibile di accessibilità il criterio che indirizza le scelte localizzative delle singole attività, e la competizione fra ciascuna di esse per beneficiarne in misura massima il fattore

che determina la loro collocazione.

In termini operativi la centralità urbana nell'analisi configurazionale è definita dall'*Integration Core* costituito dall'insieme degli elementi spaziali maggiormente integrati; solitamente il dieci per cento degli spazi più integrati e quindi più accessibili. Per definirne la forma, si fa riferimento alle parole del padre della teoria di *Space Syntax*, Bill Hillier:

The core takes a form typical of many types of town or urban area, which we call deformed wheel. A small semi-grid of lines in the heart of the settlement (the hub) is linked in several directions (the spokes) to lines on the periphery of the settlement (the rim), which also form part of the core

che ne identifica diverse come mostrato nella Figura 4.12 sottostante.

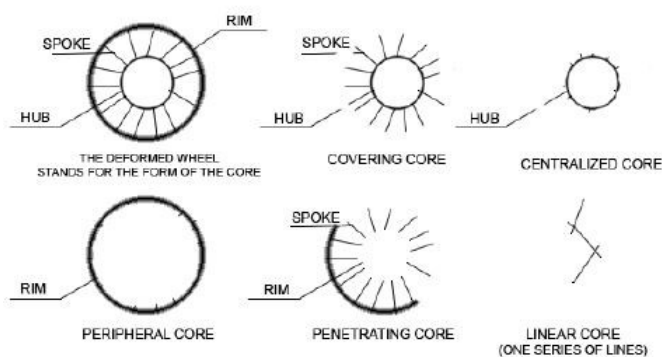


Figura 4.12: Forme dell'*Integration Core* individuate da Bill Hillier.

Lo studio affrontato ha l'obiettivo di verificare in quale misura le tecniche di analisi configurazionale siano effettivamente in grado di riprodurre la dinamica dello spostamento della centralità urbana nella città di Milano. A tal fine si è analizzata la distribuzione dell'indice di integrazione sulle consistenze urbanistiche alle scadenze temporali considerate. La città di Milano risulta essere adatta a questo tipo di analisi diacronica in quanto è caratterizzata da un nucleo storico di impianto medievale ed è stata poi oggetto di uno sviluppo urbano ingente. Inoltre l'espansione della griglia urbana della città garantisce la possibilità di costruire un'evoluzione dei livelli di centralità: la superficie

della città di Milano passa dal valore di circa 3 chilometri quadrati nel Settecento ad una estensione di circa 182 chilometri quadrati nell'epoca odierna; il tessuto urbano contemporaneo copre un'estensione pari ad oltre 60 volte quella limitata dalle mura medievali.

È quindi possibile effettuare un'analisi del movimento della centralità urbana in termini diacronici e constatare come il suo *shifting* sia dovuto alla successione dei diversi Piani Regolatori rispondendo quindi in modo positivo agli obiettivi pianificatori dettati dal Governo. È estremamente interessante notare come attraverso l'analisi configurazionale si sono individuate delle caratteristiche della città e dei suoi cambiamenti notevoli che trovano una forte corrispondenza nella realtà odierna e in quella passata.

Partendo dalla configurazione del Settecento si osserva come la centralità sia concentrata in unico spazio entro le mura della città: i suoi principali protagonisti sono Via Mercanti, Corso Vittorio Emanuele II, Via Meravigli e Corso Magenta e Piazza del Duomo, l'allora largo San Babila e Piazza Cordusio. L'*Integration Core* sembra quindi assumere una forma piuttosto lineare, sviluppandosi su strade rette e adiacenti. Naturalmente non si dispone di informazioni certe sulla presenza di attività insediate a quell'epoca e le loro effettive localizzazioni, e quindi non è possibile verificare la corrispondenza tra l'andamento dell'indice di integrazione e la densità di attività per garantire la bontà del metodo utilizzato. Tuttavia, dall'osservazione degli edifici presenti emerge che le vie maggiormente integrate definite dall'analisi configurazionale rappresentino dei luoghi rilevanti e sedi delle principali attività commerciali dell'epoca come descritto nel capitolo precedente; la zona in cui si concentravano le cattedrali (intorno al Duomo) consolidò il proprio carattere di cuore della città e punto di aggregazione dei traffici commerciali. Accanto alle cattedrali, infatti, si sviluppa il mercato costituito dalle Pescherie, le Drapperie, i banchi dei e dei borsinari. La zona del Duomo rappresentava dunque l'unica e vera centralità di Milano.

10% more integrated lines, Milano 1704

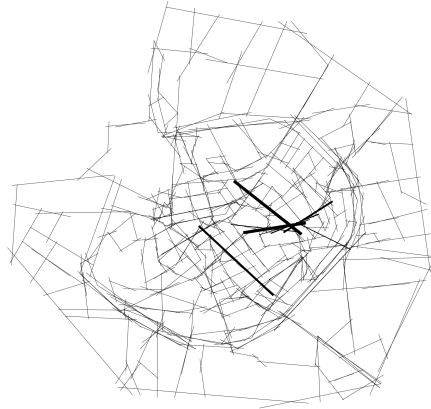


Figura 4.13: Identificazione dell'Integration Core nella città di Milano al 1704.

L'espansione successiva porta ad un decentramento della centralità urbana e alla definizione di alcuni assi caratterizzati da un alto valore dell'indice di integrazione; questa trasformazione è dovuta alle prime forme di urbanizzazione all'esterno della cinta muraria. Dalla rappresentazione dell'*Axial Map* relativa al Piano Beruto dell'anno 1884, appare evidente la presenza di un asse di massima centralità; questo è costituito da Porta Romana e Corso Lodi che collegano la parte sud della città con il centro. Risaltano inoltre l'asse costituito da Via Meravigli e Corso Magenta che mettono in comunicazione Piazza Cordusio al centro della città e la circonvallazione esterna; l'asse formato da Via Giuseppe Mazzini e Corso Italia. Si è passati quindi da una centralità piuttosto lineare ma comunque concentrata in un unico spazio (*centralized core* secondo le forme identificate da Hillier) in Figura 4.13 ad una centralità disposta su specifici assi radiali (*linear core*) in Figura 4.14. Questo rispecchia la volontà espressa dall'ingegnere Beruto nel suo piano regolatore del 1884 di voler sviluppare una struttura radiale della città di Milano.

10% more integrated lines. Milano 1884

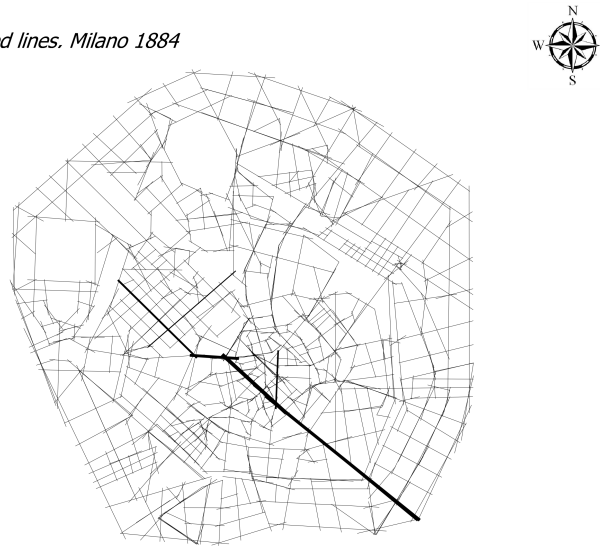


Figura 4.14: Identificazione dell'Integration Core nella città di Milano al 1884.

Dal Novecento ad oggi, la città di Milano ha subito forti cambiamenti in termini di sviluppo urbano e territoriale, crescita demografica e progresso industriale; la centralità ha quindi subito enormi modifiche. Nell'arco di tempo che si pone tra la seconda configurazione considerata e la terza, Milano è stata dapprima caratterizzata da uno sviluppo urbano basato sulla specializzazione dei singoli quartieri e successivamente, invece, dal cosiddetto *mix funzionale*, come viene spiegato più avanti nel capitolo. A differenza, quindi, delle prime due cartografie di Milano nel Settecento e nell'Ottocento, l'ultima rappresentazione di Milano presenta quella che può essere definita la *multicentralità*. Nella terza cartografia, infatti, si possono individuare diversi centri urbani, o meglio diverse zone in cui si concentrano le strade maggiormente integrate e di conseguenza accessibili, che si posizionano distribuite nella mappa a ridosso della circonvallazione dei Bastioni. La zona che rappresentava l'unico centro della città di Milano nella prima griglia urbana analizzata continua ad essere una delle zone maggiormente integrate; l'altro cuore della città è rappresentato dalla zona di Garibaldi, Moscova nel Centro Direzionale. Quest'ultima zona è oggi una delle più frequentate della città ed anche quella che negli ultimi anni ha subito molti cambiamenti. Anche le stazioni di Centrale

e Porta Romana potrebbero rappresentare due *cores* della città: il primo è costituito da Via Vitruvio che sfocia in Via Luigi Galvani e Via Giovan Battista Pergolesi che diventa Via Tonale, e da Via Melchiorre Gioia che potrebbe rappresentare la via di collegamento tra la zona Garibaldi e quella di stazione Centrale; il secondo, invece, è costituito da Viale Isonzo e Viale Umbria collegate attraverso la stazione di Lodi. Si può individuare un altro centro costituito dalla zona di Conciliazione e Pagano nel quartiere Magenta e un centro che si considera a se stante nella zona di China Town. Dall'analisi configurazionale appare evidente come l'asse che percorre la parte est della città in direzione verticale, costituito da Viale Abruzzi e Viale dei Mille, presenti un valore alto dell'indice di integrazione globale e può quindi essere considerato un nucleo di forma lineare. Un'altra zona potenzialmente identificabile come uno degli spazi maggiormente integrati nella città è Ticinese, una zona che offre molte opportunità di svago per i cittadini ed è inoltre stata rivalutata dall'apertura della Darsena nell'aprile del 2015, assegnando ai Navigli un nuovo volto.

Riassumendo, quindi, si possono identificare otto differenti centralità urbane così chiamate (Figure 4.15 e 4.16):

1. Centro storico
2. Garibaldi-Centro Direzionale
3. Centrale
4. Porta Romana
5. Pagano
6. China Town
7. Viale Abruzzi
8. Navigli

10% more integrated lines, Milano

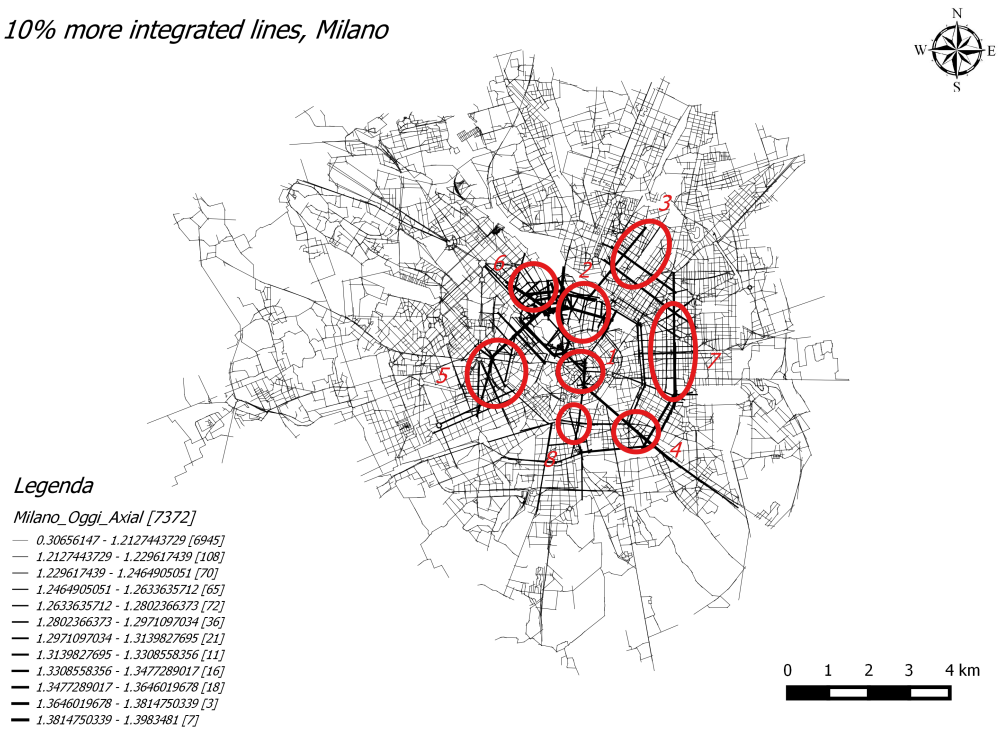


Figura 4.15: Identificazione degli Integration Cores di Milano.

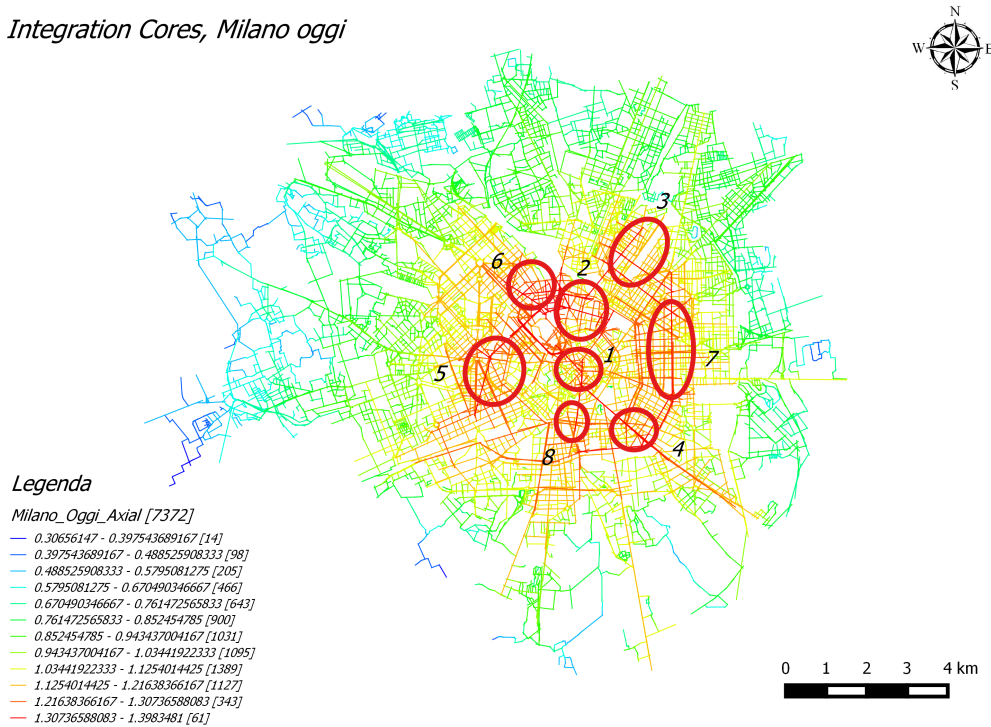
Integration Cores, Milano oggi

Figura 4.16: Identificazione dei centri urbani della città di Milano sulla mappa dell'indice di integrazione globale.

Accanto alla mappa raffigurante la distribuzione dell'indice di integrazione globale, è necessario considerare quella relativa all'indice locale di integrazione al fine di verificare se le zone individuate come centri urbani nella prima mappa rimangono integrate anche nella seconda. Si nota, infatti, che i nuclei di integrazione considerando l'indicatore a livello globale rimangono ben integrati anche in termini locali (corrispondenza dimostrata dal valore di sinergia mostrato precedentemente); in particolare risultano essere ben integrati localmente la zona di Porta Romana e l'asse verticale di Viale Abruzzi (Figura 4.17).

Local Integration, Milano oggi

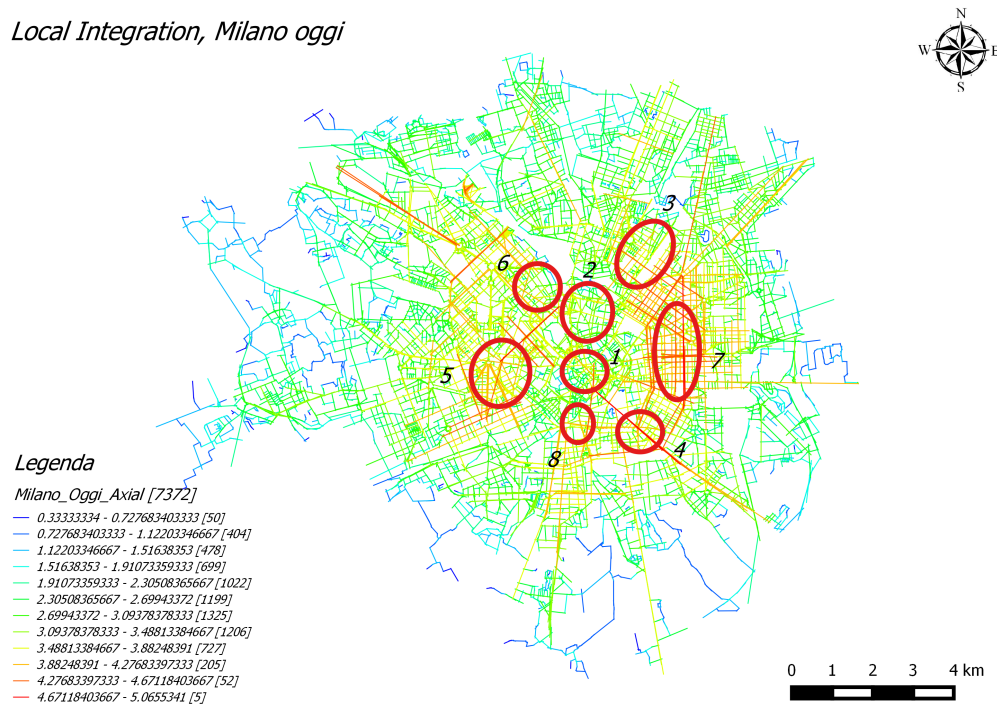


Figura 4.17: Distribuzione dell'indice di integrazione locale sulla città di Milano.

«L'esistenza del centro è definita dalla presenza di una periferia. A Milano il centro è scomparso nei suoi significati alti, in quanto la periferia territoriale è densa di centralità potenziali. L'esistenza del centro contribuisce alla visione classica della città intesa come pregnante rappresentazione della società che la abita e continuamente la ridisegna; la periferia è la verifica della vitalità della città. A Milano il centro ha cessato di rappresentare gli abitanti e gli operatori, mentre sono le continue prese di significato da parte della periferia a testimoniare un nuovo salto qualitativo nella storia della città.», come affermato dai due architetti Storchi e Armani nel loro libro “Centri storici e nuove centralità”.

La città di Milano necessita di una visione contemporanea della centralità considerando le configurazioni fisiche e le dimensioni sociali e culturale che la caratterizzano. La vecchia visione organizzativa basata sull'individuazione di un unico centro principale è

superata da una nuova, in cui i singoli elementi del sistema hanno circa un peso uguale dal punto di vista spaziale e funzionale; ciò mette in grado ogni punto di stabilire il massimo delle interazioni con tutti gli altri punti appartenenti al sistema. Questo è ampiamente dimostrato dalla mappa di integrazione della città: Milano risulta essere ben integrata e presenta diversi centri di riferimento, ben connessi tra loro, come visto in precedenza. Milano passa da essere una città monocentrica ad una città policentrica, caratterizzata da più centralità che organizzano al proprio interno attività connesse tra loro, rompendo così il tradizionale radiocentrismo dettato dal Piano Beruto del 1884. Milano è una città dall'impianto storicamente radiale, cui tuttavia si sovrappone oggi un modo di viverla sempre più a maglia "reticolare". La sua forma pertanto deve al più presto confrontarsi con questa realtà contemporanea sempre più orientata a una condizione di multicentralità. Oggi coesistono, oltre le "mura spagnole", diverse città con caratteristiche tipo-morfologiche, modi di abitare e identità molto diverse le une dalle altre [Il sole24, 2007].

In termini operativi, creare nuove centralità significa realizzare spazi a verde, diminuire la densità urbana, progettare parcheggi di interscambio ai capilinea di fermate del trasporto pubblico e promuovere lo sviluppo di una mobilità urbana tangenziale e trasversale. Ma ancor più, ciò che è davvero cambiato dalle prime forme urbane della città di Milano fino al Novecento alla Milano di oggi è il metodo di pianificazione e suddivisione degli spazi urbani: si abbandona la cultura dello *zoning* a favore di un mixaggio polifunzionale. L'obiettivo nel creare una Milano policentrica è quello di osservare la città da più punti di vista, diversi a seconda della fasce d'età, della posizione professionale e delle attitudini personali, e cercare di soddisfare tutte le esigenze proponendo un mix di funzioni integrate fra loro e inoltre combattere la sperequazione tra centro e periferia.

Se nel secolo scorso, dunque, la separazione tra funzioni (industria, residenza, terziario, spazi verdi) era assunta come un moderno principio di organizzazione della città, oggi sembra emergere un interesse crescente per quei progetti in cui lo spazio della città è uno spazio composito e multifunzionale. Il cosiddetto *Mix of Uses* consiste nella combinazione di attività residenziali, commerciali, culturali, istituzionali o industriali che sono fisicamente e funzionalmente connesse tra loro. Questo tipo di strategia di pianificazione porta con sé diversi benefici, tra cui uno sviluppo maggiormente compatto, la riduzione della distanza tra la residenza e le altre destinazioni favorendo uno sviluppo

sostenibile della mobilità in città, un migliore accesso ai servizi di uso quotidiano e anche l'originarsi di una forte identità del singolo quartiere.

Il policentrismo sopra spiegato trova conferma a livello ufficiale in quanto il Comune di Milano ha suddiviso il proprio territorio in Nuclei Identitari Locali, ossia 88 quartieri di cui ha individuato i confini e specifiche caratteristiche fisico-sociali, secondo una logica di appartenenza al quartiere e di riconoscimento in una centralità, così definiti:

I NIL (Nuclei d'Identità Locale) rappresentano aree definibili come quartieri di Milano, in cui è possibile riconoscere quartieri storici e di progetto, con caratteristiche differenti gli uni dagli altri. Vengono introdotti dal Piano di Governo del Territorio (PGT) come un insieme di ambiti, connessi tra loro da infrastrutture e servizi per la mobilità. Sono sistemi di vitalità urbana: concentrazioni di attività commerciali locali, giardini, luoghi di aggregazione, servizi; ma sono anche 88 nuclei di identità locale da potenziare e progettare ed attraverso cui organizzare piccoli e grandi servizi.

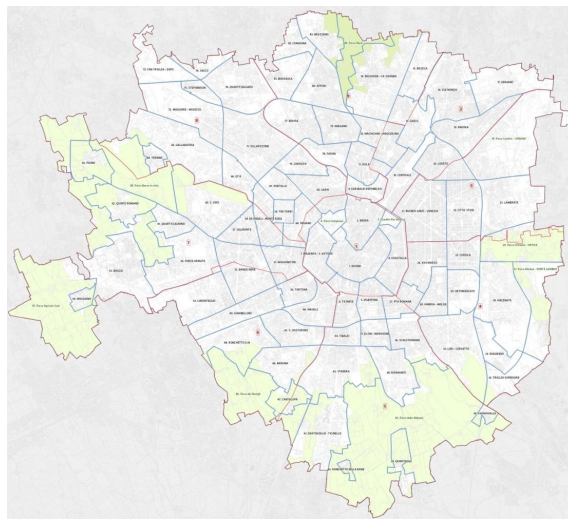


Figura 4.18: Suddivisione della città di Milano in NIL.

L'obiettivo di questa decisione strategica a scala locale è quello di riuscire ad intervenire sui singoli quartieri attraverso il progetto di servizi centrali, di spazi pubblici e collettivi

che siano facilmente raggiungibili a piedi dal proprio luogo di residenza. Questo obiettivo lo si realizza attraverso un mix funzionale dei quartieri stessi che devono essere ben connessi tra loro; a riguardo il Piano di Governo del Territorio di Milano propone tre idee chiavi (come spiegato nel capitolo 3):

- un'idea complessiva di città “multicentrica” disegnata attraverso il progetto di dieci epicentri di sviluppo che si sovrappongono ai nuclei d'identità locale, disegnando dei nuovi luoghi d'eccellenza in grado d'innescare i processi di riqualificazione diffusa ed estensiva della città; a questa scelta progettuale corrisponde l'opportunità di rendere dinamico e diffuso il mercato immobiliare;
- un'idea di mobilità urbana “tangenziale e trasversale” per connettere i nodi della rete della città; implementando strutture di movimento che permettono di vivere la città secondo velocità e modi d'uso differenti a seconda dei luoghi e delle esigenze delle persone;
- un'idea di “naturalità urbana” costituita da diversi polmoni verdi collegati tra loro attraverso un percorso ad anello pedo-ciclabile di 80 km (fil rouge).

Connettività reticolare, multicentralità, mix funzionale e trasporto trasversale sono le parole chiavi per descrivere la Milano attuale e trovano riscontro nell'analisi operativa sopra descritta.

4.4 Corrispondenza tra realtà e modello

Una volta implementata la mappa della città di Milano nel software *Depthmap*, si vuole osservare se i risultati ottenuti abbiano una corrispondenza nella realtà e siano in grado di riprodurre la situazione attuale al fine di utilizzare lo strumento come mezzo di rappresentazione di possibili scenari futuri e di supporto alle decisioni, ai quali si darà ampio spazio nel capitolo successivo.

L'aspetto che rende concretamente utile l'applicazione delle tecniche di analisi configurazionale è infatti la capacità degli indici configurazionali, comprovata da numerosi studi ed esperienze, di rappresentare e riprodurre in modo stretto e attendibile alcune specifiche caratteristiche e aspetti attinenti a fenomeni urbani. In particolare, è stata attestata la capacità dell'indice di integrazione di riprodurre l'andamento della attrattività nei riguardi della localizzazione di attività, così da potersi utilizzare come un indicatore di centralità urbana [Cutini, 2001a].

Questa capacità è stata certificata da numerose sperimentazioni effettuate in tutto il mondo. Solo per citarne alcuni, lo studio in cui viene dimostrata la correlazione fra la densità insediativa di attività e l'indice di integrazione locale su un campione di *lines* selezionato nella *Axial Map* di Grosseto e di Orbetello effettuato da Cutini nell'articolo "Configuration and Centrality: Some evidence from two Italian case"; la solida correlazione tra il flusso del movimento pedonale e il valore dell'indice di integrazione locale calcolata sulle strade della città di Pisa e descritta nel volume "Una città in movimento". Due altri esempi, internazionali, sono la ricerca affrontata dallo studio di Architettura Urbana della Bartlett School (UCL) su Tate Gallery, un complesso di quattro musei di stato a Londra, e l'analisi di B. Hillier, A. Penn, J. Hanson, T. Grajewski, J. Xu nel lavoro "Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement"; per non dimenticare i casi studio analizzati da Hillier nel 1993, di cui quello più significativo è il caso studio delle strade in prossimità della stazione di King's Cross di Londra, in cui la correlazione tra l'indice di integrazione e il flusso di pedoni è stata calcolata sia tenendo conto della presenza di negozi e sia trascurando le strade con i negozi; in quest'ultimo caso la correlazione aumenta di molto poichè si considera esclusivamente il movimento naturale. In questi e molti altri studi si è studiata e dimostrata la correlazione più che positiva tra la distribuzione dei valori di indici configurazionali e il movimento pedonale, veicolare e la distribuzione delle attività e unità locali all'interno

del sistema analizzato.

Per il caso della città di Milano, si è deciso di discutere la corrispondenza tra realtà e modello configurazionale considerando le attività presenti all'interno del sistema e si sono individuati due tipi di metodologia:

- una corrispondenza quantitativa tra i livelli di attrattività per attività e i centri maggiormente integrati individuati dall'analisi configurazionale, tenendo conto della suddivisione di Milano in NIL;
- una corrispondenza quantitativa tra i livelli dell'indice di integrazione e la densità di unità locali effettuata su un campione ottenuto tenendo conto di tutta l'area del comune di Milano.

Nel primo caso, si è individuato l'elenco dei NIL che risultano maggiormente integrati secondo l'analisi configurazionale e si è osservato la corrispondenza tra i dati suddivisi per Nuclei di Identità Locale e quelli in output dal software *Depthmap*.

Nel secondo caso, è stato preso un campione di *lines* selezionate in modo da includere una equilibrata presenza di tronchi stradali caratterizzati dai diversi valori dell'indice di integrazione, e sulle stesse strade si è calcolato il livello di densità di unità locali attraverso il rapporto tra il numero delle attività effettivamente presenti lungo il tratto stradale e la lunghezza fisica di quest'ultimo.

L'obiettivo che ci si è posto è quindi quello di verificare in quale misura la distribuzione dei livelli di attrattività definiti dai risultati dell'analisi configurazionale corrisponda alla distribuzione reale delle attività insediate.

Una volta calcolata l'*Axial Map* sul software *Depthmap*, è stata caricata sul software *QGis*, analogo ad *ArcGis*, come file raster al fine di georeferenziare l'immagine attraverso il plugin *Georeferencer GDAL*. Con il termine georeferenziazione ci si riferisce al processo mediante il quale si assegnano delle coordinate del mondo reale a ciascun pixel del raster. La mappa reale utilizzata è la mappa satellitare di *Open Street Map* e si è considerato il sistema di riferimento delle coordinate WGS84. Questa trasformazione avviene tramite delle polinomiali con ordine dipendente dal tipo di deformazione da applicare sull'immagine; generalmente per le immagini satellitari si usano polinomiali del primo ordine, per le immagini aeree polinomiali del secondo ordine o superiori. Nel

caso studio qui presentato, è stato scelto la trasformazione polinomiale di terzo tipo al fine di ottenere una elevata accuratezza. Esistono tre algoritmi differenti per il calcolo dei pixel: *Nearest neighbour*, in cui il pixel in output assume il valore di quello più vicino nell'immagine trasformata; *Bilinear resampling*, in cui il pixel in output assume il valore interpolato dei quattro più vicini nell'immagine trasformata e *Cubic convolution* che assegna al pixel in output il valore interpolato dei sedici più vicini nell'immagine trasformata. L'algoritmo scelto è stato il primo ed è stato necessario selezionare dodici punti di controllo (Figura in Appendice) per permettere la georeferenziazione. La bontà di questa operazione risulta positiva in quanto l'errore medio è di circa 2,2 metri, dato accettabile per l'analisi che si affronta. Una volta georeferenzata l'immagine e dopo aver trasformato le sue coordinate secondo quelle del sistema di riferimento Monte Mario, è stato possibile eseguire la sovrapposizione di diverse informazioni necessarie sia per il primo tipo che il secondo tipo di interpretazione dei dati.

Prima tipologia

La prima tipologia utilizza la suddivisione del territorio negli 88 NIL individuati dal nuovo Piano di Governo del Territorio della città di Milano. Come anticipato nei paragrafi antecedenti, I Nuclei d'Identità Locale rappresentano aree definibili come quartieri di Milano, in cui è possibile riconoscere quartieri storici e di progetto, con caratteristiche differenti gli uni dagli altri. La zonizzazione del sistema in 88 zone permette di avere a disposizione una quantità modesta di dati quantitativi di monitoraggio e controllo forniti dal comune di Milano. Ogni nucleo è definito da un codice che varia tra 1 e 88 e dal nome del quartiere.

Come primo passo, si è individuata la corrispondenza tra gli *Integration cores*, precedentemente raffigurati in Figura 4.16, e i Nuclei di Identità Locale attraverso la sovrapposizione dell'Axial Map, lo shapefile raffigurante la suddivisione della città in NIL e la mappa stradale di riferimento, di cui viene riportata l'immagine georeferenzata in QGIS (Figura 4.19).

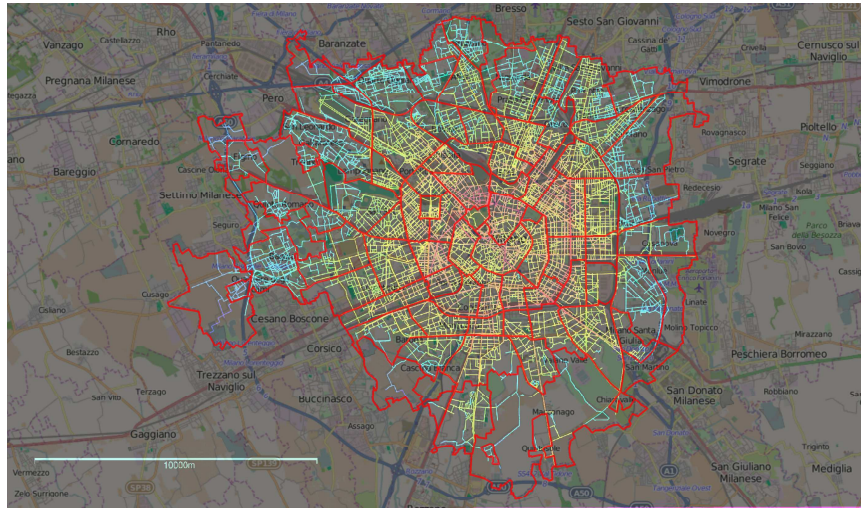


Figura 4.19: Sovrapposizione della suddivisione in NIL della città sull'Axial Map di Milano e mappa base.

Laddove l'*Integration Core* coinvolge più di un singolo NIL si considerano i NIL che ricoprono la stessa porzione di area. È sorprendente come la perimetrazione, seppur qualitativa, delle centralità urbane dedotta dall'analisi configurazionale possa essere approssimata a quella dei Nuclei di Identificazione Locale definiti dal comune della città. In tabella vengono rappresentati nella colonna sinistra gli *Integration cores* visualizzati dall'*Axial Map* e nella colonna destra la corrispondenza in termini di copertura del territorio con i NIL di cui è riportato il codice e il nome.

| <i>Integration cores Axial Map</i> | <i>Nuclei di Identità Locale (codice.nome)</i> |
|------------------------------------|--|
| 1.Centro storico | 1.Duomo |
| 2.Garibaldi-Centro Direzionale | 2.Brera + 9.Garibaldi Repubblica |
| 3.Centrale | 10.Centrale |
| 4.Porta Romana | 27.Porta Romana |
| 5.Pagano | 51.Washington + 68.Pagano |
| 6.China Town | 69.Sarpi |
| 7.Viale Abruzzi | 21.Buenos Aires-Venezia + 26.XXII Marzo |
| 8.Ticinese | 6.Ticinese |

Tabella 4.1: Corrispondenza tra *Integration Cores* e NIL.

La fase successiva consiste nel calcolare il valore medio dell'indice di *Integration* per ogni

core individuato considerando il NIL oppure i NIL corrispondenti secondo la tabella sopra, al fine di paragonarlo ai dati di stampo economico relativi al singolo nucleo.

Si è considerato il numero totale delle unità locali presenti in ciascun nucleo dividendolo per l'estensione superficiale del nucleo stesso; l'unità locale è quel luogo fisico nel quale un'unità giuridico - economica (impresa, istituzione) esercita una o più attività economiche; costituiscono esempi di unità locale le seguenti tipologie: agenzia, albergo, ambulatorio, bar, cava, deposito, domicilio, garage, laboratorio, magazzino, miniera, negozio, officina, ospedale, ristorante, scuola, stabilimento, studio professionale, ufficio, ecc. (definizione di unità locale da *Istat*).

| <i>Integration cores</i> | <i>Valore medio di integrazione</i> | <i>Unità locale / ha</i> |
|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 1.Duomo | 1.172 | 151.268 |
| 2.Brera + Garibaldi Repubblica | 1.181 | 69.855 |
| 3.Centrale | 1.113 | 24.254 |
| 4.Porta Romana | 1.162 | 21.35 |
| 5.Washington + Pagano | 1.180 | 22.823 |
| 6.Sarpi | 1.170 | 19.376 |
| 7.B. Aires-Venezia + XXII Marzo | 1.153 | 28.181 |
| 8.Ticinese | 1.163 | 32.332 |

Tabella 4.2: Valore medio dell'indice di integrazione e la densità delle unità locali per ogni centralità il cui perimetro è definito dal NIL corrispondente.

Vengono illustrati i grafici di regressione che mostrano la differenza tra i risultati prodotti dal modello configurazionale, riportati lungo l'ascissa, e i dati osservati, in ordinata, e sono caratterizzati dalla linea di tendenza e dal coefficiente di correlazione R^2 .

Analizzando qualitativamente i grafici, la validazione risulta essere positiva se i punti si distribuiscono lungo la linea di tendenza; questa deve essere il più possibile simile alla bisettrice del primo quadrante affinché i dati del modello e quelli osservati siano tanto più simili. Da un punto di vista quantitativo, invece, la bontà dei risultati può essere definita in funzione del coefficiente R^2 ; tanto più il suo valore tende ad 1 tanto più la corrispondenza tra le due serie di dati è elevata.

Nel caso in esame, la corrispondenza tra la densità delle unità locali e il valore dell'indice di *Integration* per i nuclei identificati come centralità urbane della città non risulta essere alta. Come si evince dal grafico sottostante in Figura 4.20, il coefficiente di correlazione

assume un valore molto più tendente a zero che a 1, sia nel caso di ipotesi di correlazione lineare che in quello di correlazione di tipo esponenziale.

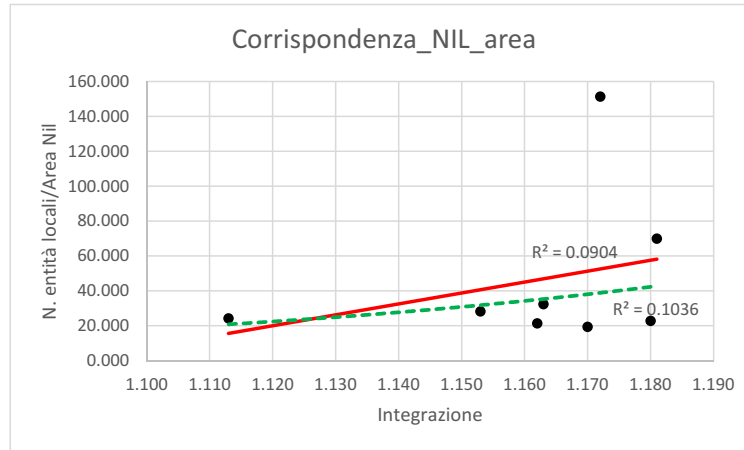


Figura 4.20: Correlazione tra il valore di integrazione globale e la densità di unità locali, considerate secondo le aree e calcolate per gli specifici NIL corrispondenti alle centralità urbane individuate attraverso l'analisi configurazionale. $R^2 = 0,09$ nel legame lineare; $R^2 = 0,10$ nel legame esponenziale.

In realtà la bassissima correlazione era attesa poiché si è paragonati diverse centralità urbane attraverso l'indice di integrazione globale che viene calcolato sull'intera estensione del sistema e che quindi non tiene conto della singola posizione geografica di ciascun nucleo. Inoltre il motivo per cui il valore del coefficiente di correlazione R^2 è molto basso è relativo all'unità di misura considerata, diversa per le due serie: il valore di integrazione, che sia esso globale oppure locale, viene calcolato sulla singola *line*, mentre la densità delle unità locali è calcolata come il numero delle attività effettivamente presenti all'interno del singolo Nucleo di Identità Locale, rapportato alla superficie del nucleo stesso. Correlando la distribuzione dell'indice di integrazione con la densità delle attività ottenuta come rapporto tra il numero delle attività presenti all'interno del nucleo e il numero delle *lines* costituenti il nucleo, si nota che la corrispondenza, questa volta di tipo lineare, diviene poco più solida (Figura 4.21).

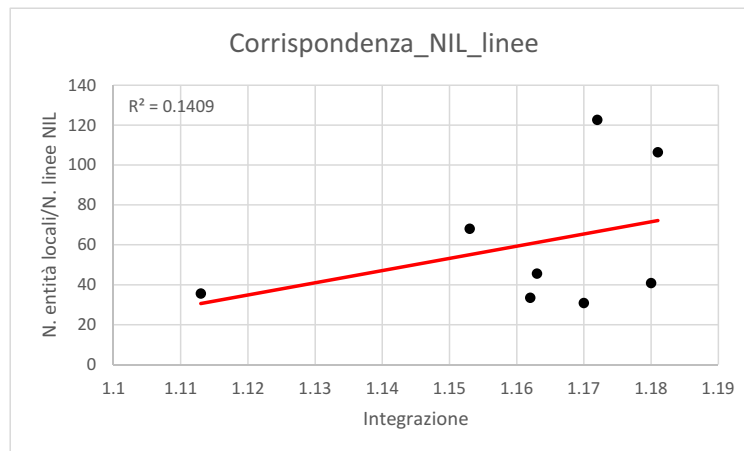


Figura 4.21: Correlazione tra il valore di integrazione globale e la densità di unità locali considerando il numero delle *lines* costituenti i NIL corrispondenti alle centralità urbane individuate attraverso l'analisi configurazionale. $R^2 = 0.141$.

Seconda tipologia

Nella seconda tipologia si è adottato un metodo di analisi basato su un campione di specifici tratti stradali selezionati sia secondo la collocazione spaziale e sia secondo la loro identità configurazionale al fine di costruire un campione rappresentativo dell'intero insieme delle *lines* che compongono l'*Axial Map* della città di Milano; gli assi scelti quindi sono distribuiti omogeneamente su tutto il territorio comunale e hanno una valenza configurazionale che ricopre l'intero range di valori possibili di *Integration*. Sugli stessi assi è stata rilevata la densità insediativa delle attività effettivamente presenti calcolato come il rapporto tra il numero delle attività effettivamente presenti e la lunghezza del tratto stradale stesso. Considerando la grandezza dell'*Axial Map* di Milano e il fatto che l'obiettivo principale di questo lavoro non è la parte di studio della corrispondenza tra gli indici configurazionali e le attività insediative, è stato ritenuto sufficiente un numero di 30 *lines* corrispondenti a 35 tronchi stradali. Per ottenere questi dati si è ricorso all'aiuto del sistema di informazione geografica *ArcGis* e di *Google Maps* e laddove i dati mancavano, si è effettuato il conteggio delle attività di persona. Tali valori sono stati messi in correlazione con l'indice di integrazione, sia a livello globale considerando l'intera dimensione del sistema, e sia a livello locale calcolando solo le *lines* presenti in

un intorno topologico (a seconda del cambio di direzione lungo i percorsi possibili) di raggio pari a 3 rispetto alla *line* selezionata (Tabella sottostante).

| <i>Street Name</i> | <i>Int HH</i> | <i>Int R3</i> | <i>N. Activities</i> | <i>Length (m)</i> | <i>Density of Act.</i> |
|-----------------------------------|---------------|---------------|----------------------|-------------------|------------------------|
| <i>Via Paolo Sarpi</i> | 1,386 | 3,269 | 180 | 900 | 0,200 |
| <i>Via Dante e Orefici</i> | 1,338 | 4,086 | 54 | 650 | 0,083 |
| <i>Viale Vittorio Veneto</i> | 1,295 | 3,815 | 36 | 750 | 0,048 |
| <i>Via Paolo Giovio</i> | 1,301 | 3,935 | 25 | 600 | 0,042 |
| <i>Viale Isonzo</i> | 1,326 | 4,316 | 44 | 900 | 0,049 |
| <i>Viale P. Romana/C. Lodi</i> | 1,346 | 4,733 | 139 | 2200 | 0,063 |
| <i>Corso Italia</i> | 1,307 | 4,313 | 74 | 1100 | 0,067 |
| <i>Viale Abruzzi/Viale Umbria</i> | 1,346 | 5,065 | 192 | 3000 | 0,064 |
| <i>Viale Vitruvio/Via Plinio</i> | 1,344 | 4,671 | 116 | 1700 | 0,068 |
| <i>Va G.Boni/Via D.Cimaraosa</i> | 1,322 | 4,468 | 49 | 1250 | 0,039 |
| <i>Viale Teodorico</i> | 1,197 | 3,999 | 10 | 650 | 0,015 |
| <i>Corso Sempione</i> | 1,219 | 3,758 | 51 | 1200 | 0,043 |
| <i>Corso Buenos Aires</i> | 1,228 | 4,426 | 145 | 1300 | 0,112 |
| <i>Via Beatrice D'Este</i> | 1,268 | 4,275 | 26 | 750 | 0,035 |
| <i>Viale Liguria</i> | 1,252 | 4,041 | 18 | 700 | 0,026 |
| <i>Via Savona</i> | 1,178 | 3,605 | 114 | 2100 | 0,054 |
| <i>Via Giovanni Segantini</i> | 1,124 | 3,145 | 21 | 1000 | 0,021 |
| <i>Via Leo Longonesi</i> | 1,205 | 3,855 | 6 | 810 | 0,007 |
| <i>Via Carlo Farini</i> | 1,147 | 3,498 | 73 | 1100 | 0,066 |
| <i>Via Padova</i> | 1,012 | 4,055 | 211 | 3800 | 0,056 |
| <i>Via delle Forze Armate</i> | 1,001 | 3,372 | 6 | 700 | 0,009 |
| <i>Via Ortles</i> | 1,113 | 3,531 | 13 | 700 | 0,019 |
| <i>Via Oreste Salomone</i> | 0,828 | 3,110 | 7 | 870 | 0,008 |
| <i>Via Luigi Figini</i> | 0,835 | 2,673 | 1 | 120 | 0,008 |
| <i>Via Cascina Bellaria</i> | 0,765 | 2,073 | 3 | 500 | 0,006 |
| <i>Via M. Lessona/Via Eritre</i> | 0,757 | 3,461 | 14 | 1100 | 0,013 |
| <i>Via Novara</i> | 0,676 | 1,852 | 2 | 900 | 0,002 |
| <i>Via Selvanesco</i> | 0,791 | 1,330 | 6 | 850 | 0,007 |
| <i>Via Alessandro Minuziano</i> | 0,738 | 1,834 | 5 | 900 | 0,006 |
| <i>Via Riccardo Pitteri</i> | 0,736 | 2,976 | 24 | 1200 | 0,020 |

Tabella 4.3: Tabella del campionamento di 30 lines distribuite su tutte il territorio comunale di Milano, da quelle più integrate a quelle più segregate.

I risultati dello studio mostrano una correlazione assai significativa della densità di attività con l'indice di integrazione globale in quanto il coefficiente R^2 assume il valore di 0,657 nel caso in cui la correlazione sia di tipo esponenziale, come mostrato nella Figura 4.22. Una correlazione, ancora di tipo esponenziale, esiste tra la densità di attività e l'indice di integrazione locale ma risulta essere più debole e caratterizzata, quindi, da un valore di R^2 minore, pari a 0.534 (Figura 4.23).

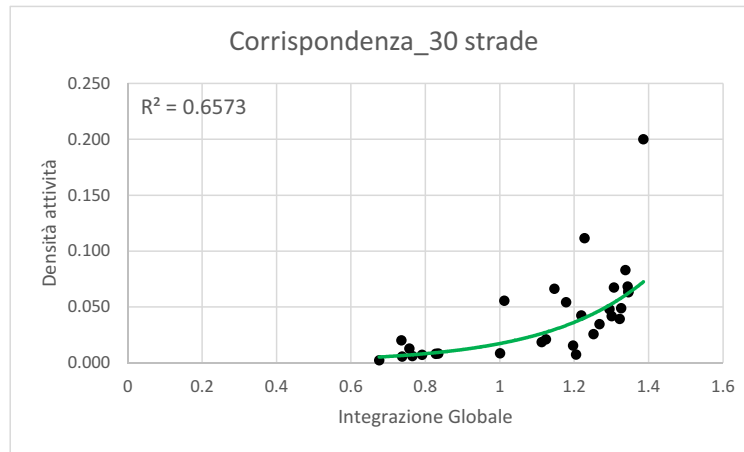


Figura 4.22: Correlazione tra integrazione globale e densità delle attività sul campionamento sulla città di Milano. $R^2 = 0.657$.

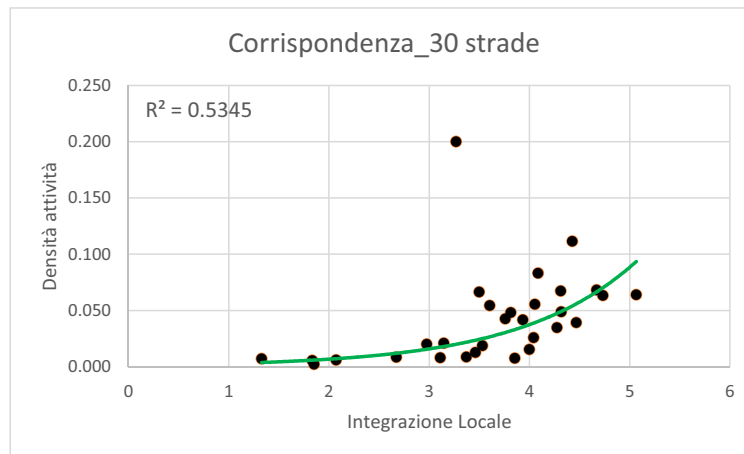


Figura 4.23: Correlazione tra integrazione locale e densità delle attività sul campionamento sulla città di Milano. $R^2 = 0.534$.

Al fine di depurare i risultati delle correlazioni dai possibili effetti dovuti a fattori locali o di natura contingente, si è deciso di aggregare i 30 elementi in 10 gruppi di 3 elementi ciascuno, e di trarne il relativo valore medio. A seguito di questa aggregazione, i risultati della correlazione della densità di attività con il valore di integrazione mostrano una corrispondenza molto elevata: il valore del coefficiente di correlazione esponenziale risulta essere 0,9 se si considera l'integrazione globale e maggiore di 0,8 se si considera quella locale, come riportato nella Figura 4.24 e Figura 4.25.

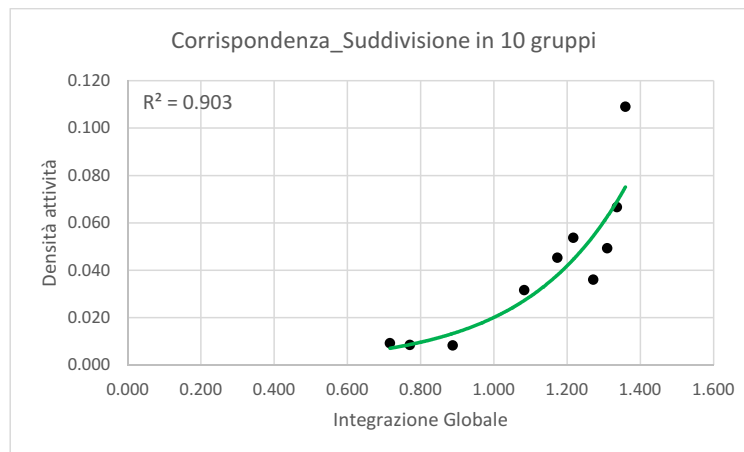


Figura 4.24: Correlazione tra integrazione globale e i valori medi della densità di attività sui 10 raggruppamenti degli elementi del campione. $R^2 = 0.903$.

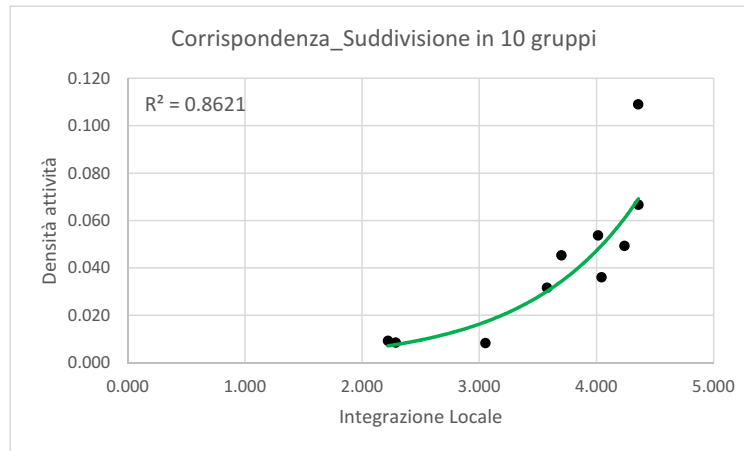


Figura 4.25: Correlazione tra integrazione locale e i valori medi della densità di attività sui 10 raggruppamenti degli elementi del campione. $R^2 = 0.862$.

In conclusione, in questa seconda tipologia i risultati ottenuti rilevano una corrispondenza descritta dall'espressione

$$y = \alpha \exp^{\beta x}$$

in cui y rappresenta il numero delle attività per ogni linea e x il valore dell'indice di integrazione e che raffigura quindi il tipo di relazione che sussiste tra l'uso del suolo (in veste della densità di attività) e l'assetto configurazionale (interpretato dall'indice di integrazione).

4.5 Rapporto tra configurazioni e funzioni

Nel paragrafo precedente, si è visto la capacità dell'indice di integrazione di riprodurre l'andamento delle attrattività relative alla distribuzione delle attività nella città di Milano, in modo tale da poter essere considerato come un indicatore di centralità urbana; in questo paragrafo si passa dalle analisi sullo spazio fisico alle funzioni presenti nella città di Milano: si vuole osservare come la distribuzione di servizi, che possiamo definire *attività essenziali*, si sovrappone a quella dell'indice di integrazione globale sull'intera mappa della città di Milano.

Questo tipo di discussione consiste nel sovrapporre le mappe *Axial Map* e quella raffigurante determinati dati forniti dal comune di Milano in formato shape. Si è utilizzato ancora il software *QGIS*, usato per la creazione e l'analisi di mappe, per la compilazione di dati geografici e la gestione di informazioni localizzate.

A differenza degli studi precedentemente affrontati sulla corrispondenza tra gli indici configurazionali e la realtà, in questo ultimo caso non è possibile parlare di corrispondenza positiva o negativa in quanto le funzioni considerate sono definite attività monopolistiche che attraggono movimento indipendentemente dalla attrattività della loro localizzazione all'interno della griglia urbana. Le attività monopolistiche fanno parte di quel mercato che si instaura quando un certo numero di venditori offre beni o prodotti che soddisfano lo stesso bisogno ma si presentano con caratteristiche diverse; per esempio le stazioni ferroviarie, le università, gli ospedali, le attività amministrative.

Per la città di Milano si è voluto analizzare il sistema del trasporto pubblico: a disposizione si hanno dati geografici sulla localizzazione delle fermate della metropolitana e delle stazioni ferroviarie, sui percorsi delle linee di superficie, sulle posizioni delle stazioni di bike sharing per la mobilità dolce. Ritenendo aver poco senso sovrapporre tutti i layer a disposizione in quanto il trasporto pubblico della città di Milano può essere considerato distribuito in modo abbastanza omogeneo sull'intera città, si è deciso di analizzare unicamente il sistema ferroviario e quello metropolitano della città. Si possono notare interessanti aspetti che favoriscono la bontà del modello configurazionale analizzando qualitativamente la mappa riportata in Figura 4.26. La parte nord est che si sviluppa al di là della circonvallazione interna è sicuramente quella più fornita dai mezzi di trasporto su ferro; la linea ferroviaria passa per gli *Integration cores* prima identificati, in particolare collega i *cores* dell'ala destra attraverso le linee ferroviarie che fermano alle stazioni di Porta Garibaldi, Repubblica, Porta Venezia, Dateo, Porta Vittoria, Porta Romana fino ad arrivare a Porta Genova. I *cores* rappresentati dai Nuclei di Identificazione Locale di Brera e Garibaldi-Repubblica e Centrale sono quelli più accessibili attraverso sia le stazioni ferroviarie che quelle delle metropolitane MM2 verde (stazioni di Gioia, Garibaldi), la MM3 gialla (stazione di Repubblica) e la MM5 lilla (stazione di Isola). La zona meno accessibile attraverso i mezzi qui considerati è la zona ovest della città nonostante vi siano delle linee ben integrate in termini di analisi configurazionale.

Sistema del trasporto pubblico

- Stazioni ferroviarie
- Linee della metropolitana

*Legenda**Milano_Oggi_Axial [7372]*

- 0.30656147 - 0.379347245333 [10]
- 0.379347245333 - 0.452133020667 [42]
- 0.452133020667 - 0.524918796 [135]
- 0.524918796 - 0.597704571333 [200]
- 0.597704571333 - 0.670490346667 [396]
- 0.670490346667 - 0.743276122 [507]
- 0.743276122 - 0.816061897333 [603]
- 0.816061897333 - 0.888847672667 [837]
- 0.888847672667 - 0.961633448 [850]
- 0.961633448 - 1.03441922333 [872]
- 1.03441922333 - 1.10720499867 [1127]
- 1.10720499867 - 1.179990774 [941]
- 1.179990774 - 1.25277654933 [614]
- 1.25277654933 - 1.32556232467 [193]
- 1.32556232467 - 1.3983481 [45]

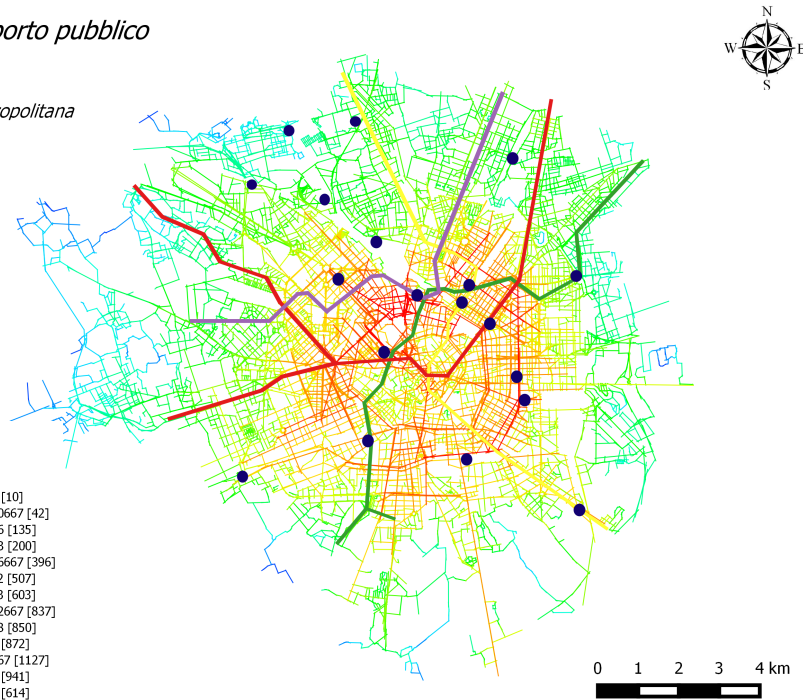


Figura 4.26: Stazioni ferroviarie e linee metropolitane della città di Milano sull’Axial Map.

Oltre a quello del trasporto pubblico, è essenziale che una città fornisca servizi per garantire l’istruzione e il diritto allo studio essendo uno dei diritti fondamentali ed inalienabili della persona sancito dalla Dichiarazione universale dei diritti umani dell’ONU. Si è deciso di rappresentare unicamente la distribuzione delle sedi universitarie della città e trascurare quella delle scuole secondarie, primarie, di infanzia e nidi poiché omogeneamente distribuite sull’intero territorio essendo scuole d’obbligo. La mappa delle localizzazione delle università, invece, può essere in grado di fornire una interessante punto di discussione nell’osservare se queste siano posizionate negli spazi con un alto valore dell’indice di integrazione o meno. All’interno del comune di Milano vi sono diverse istituzioni universitarie: Università degli Studi di Milano detta Statale di Milano, la cui sede principale si trova in via Festa del Perdono e insieme ad altre sue sedi situate in via Conservatorio e via Santa Sofia rientra nel NIL Duomo, uno tra gli

otto *cores* individuati precedentemente; l'Università degli Studi di Milano – Bicocca nel quartiere Bicocca della città, il Politecnico di Milano situato in Città Studi e nel quartiere di Bovisa, entrambe le ultime due università hanno sedi localizzate in zone mediamente ben integrate dipinte di color giallo nell'*Axial Map*. L'ateneo privato dell'Università di Luigi Bocconi si trova nel quartiere Ticinese, ben integrato in termini di analisi configurazionale, mentre quello dell'Università Cattolica del Sacro Cuore si posiziona all'interno del *Core* Duomo, come l'Istituto Europeo di Design (IED) e l'Accademia di Belle Arti di Brera, quest'ultima situata all'interno del nucleo Brera. La Libera Università di Lingue e Comunicazione (IULM) e la Nuova Accademia di Belle Arti (NABA) sono localizzate nella parte sud est della città, a ridosso della circonvallazione esterna; in una zona caratterizzata da un valore minore dell'indice di integrazione globale rispetto a quello attraverso cui si son individuate le centralità urbane della città ma comunque ben integrata a livello globale.

Sedi universitarie di Milano

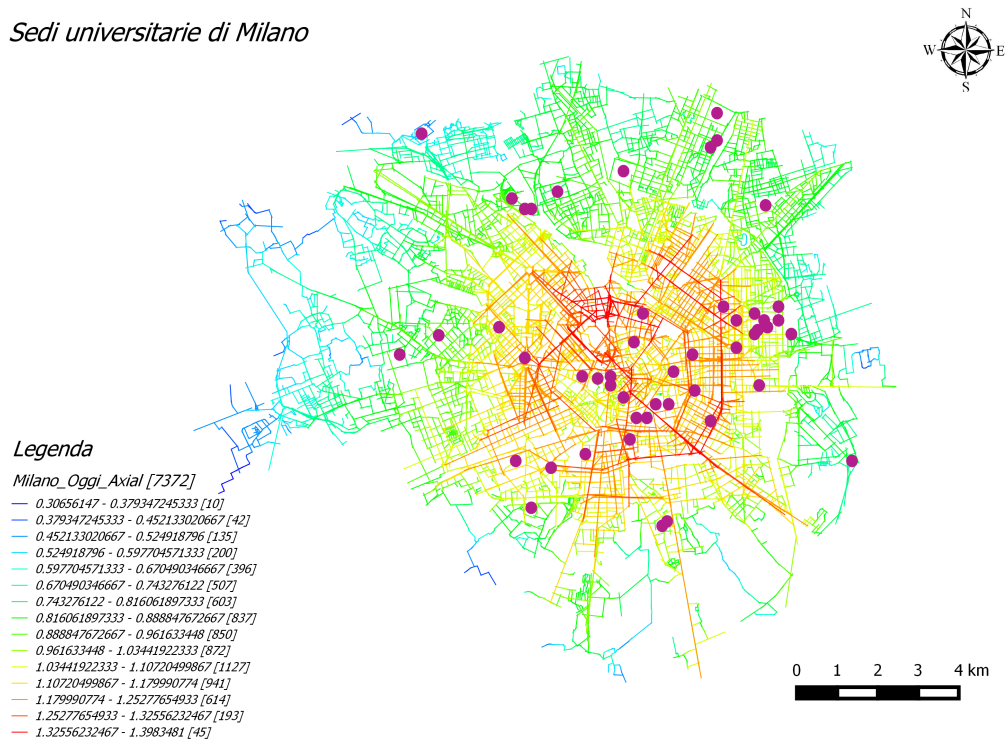


Figura 4.27: Sedi delle università della città di Milano sull'Axial Map.

Si può quindi concludere che nonostante siano attività monopolistiche, la localizzazione delle fermate ferroviarie e del trasporto metropolitano e le posizioni in cui si trovano le diverse sedi universitarie risultano posizionate in zone ben integrate secondo la teoria configurazionale di *Space Syntax*.

Capitolo 5

Space syntax: mezzo di supporto alle decisioni

5.1 L'analisi configurazionale per lo studio dell'accessibilità

L'analisi territoriale è legata all'analisi economica, geografica, e sociologica, alla statistica e alla ricerca operativa. Per accessibilità territoriale si intende una misura della facilità con cui è possibile sfruttare un certo bene in funzione della distribuzione del bene, della sua disponibilità e del costo per raggiungerlo in una determinata zona. Questo concetto si presta ad una variegata gamma di approcci analitici, per la natura complessa dei sistemi territoriali, nei quali la distribuzione di famiglie e attività è funzione (anche se non esclusivamente) della facilità di utilizzo delle diverse attività e servizi urbani e, quindi, dell'accessibilità reciproca tra luoghi diversi del territorio.

Esistono in letteratura numerose definizioni di accessibilità; fra le più interessanti per gli obiettivi in questo paragrafo, mirato a descrivere l'evoluzione dell'accessibilità e implementarla attraverso l'analisi configurazionale per la città di Milano, si ritiene opportuno menzionare le seguenti:

- «L'accessibilità può essere definita come il potenziale delle opportunità nella interazione» (Hansen, 1959);

- «L'accessibilità denota la facilità con cui ogni attività può essere raggiunta» (Burns, Golob, 1976);
- «L'accessibilità non è solo un aspetto della domanda di mobilità fisica associata ad un tempo o a un costo di viaggio necessario per superare una certa distanza fisica e non dipende esclusivamente dalle performance dei trasporti o da quelle delle attività, ma dall'interazione fra le due (Ocelli, 1999); è una risorsa associata alle molteplici reti di interazioni stabilite dalle persone e dalle organizzazioni nel sistema urbano» (Castells 1989, Ocelli 1998).

La misura dell'accessibilità è molto importante per la pianificazione e la gestione del territorio in quanto è una misura diretta del grado di sviluppo economico e sociale che una determinata area assume rispetto alle zone limitrofe; in questo capitolo si analizza l'evoluzione dello studio dell'accessibilità territoriale e si affronta il problema dell'accessibilità della città di Milano attraverso la teoria configurazionale.

5.1.1 Il concetto di accessibilità in letteratura

«Definire in modo appropriato il concetto di accessibilità è essenziale al fine di comprendere le dinamiche urbane in termini di mobilità e spostamento. Nella letteratura sono stati descritti vari metodi per la misura dell'accessibilità, ma ben pochi sono stati applicati nelle pratiche. Un network internazionale che dia la possibilità di una maggiore condivisione e facile comunicazione potrebbe rappresentare un enorme vantaggio nella pianificazione». Con queste parole si presenta la COST Action TU1002 nel report «Accessibility Instruments for Planning Practice» al fine di analizzare diversi modelli di accessibilità in grado di misurarla e di fornire un contributo a decisioni di pianificazione.

Esistono diversi modelli per il calcolo dell'accessibilità, ciascuno dei quali è legato ad una teoria specifica.

La matrice dei percorsi minimi può essere considerata il punto di partenza delle misure di accessibilità [Basso et al. 2007]. Le righe di tale matrice definiscono l'insieme dei nodi di partenza (origini dello spostamento) mentre le colonne rappresentano l'insieme dei nodi di arrivo (destinazioni degli spostamenti); gli elementi all'interno della matrice costituiscono gli indici di accessibilità relativa, ossia la misura dello sforzo per il superamento della separazione spaziale fra ogni coppia di nodi del territorio. Quest'ultima può

indicare la distanza fisica oppure il tempo del viaggio inteso come costo di trasporto da sostenere per muoversi dal nodo i -esimo a quello j -esimo. La sommatoria degli elementi della riga i -esima della matrice dei minimi percorsi fornisce il valore dell'accessibilità nodale relativa al centro i -esimo e costituisce l'impedenza minima totale per gli spostamenti dal nodo i da tutti i nodi j : $A_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$ in cui j deve appartenere all'insieme degli n nodi di destinazione degli spostamenti.

È durante il dopoguerra, nel 1950-1960, che si afferma il campo di studi che si occupa di modellizzare i concetti di accessibilità e trasporto. Il primo in assoluto che dedica gran parte dei suoi studi a questo tema è Walter G. Hansen col suo libro "How accessibility shapes land use", in cui viene descritto il modello di accessibilità basato su un approccio gravitazionale: le masse che si attraggono rappresentano l'insieme di determinati fattori (come la dimensione, il numero di servizi offerti, il tipo di attività proposto, ecc.) che quantificano l'attrattività di una località specifica. Come la forza di attrazione gravitazionale tra due corpi è determinata dalla loro massa e dalla distanza tra essi, così la forza di interazione tra due aree dipende direttamente dalle loro masse e indirettamente dalla separazione spaziale (analogia con la legge fisica di Newton). In questo senso, la difficoltà di spostamento aumenta con la distanza e diminuisce con la capacità di interazione tra gli individui. L'indice gravitazionale può essere calcolato come

$$A_i = \sum_j S_j / T_{ij}^{-x}$$

in cui A_i è l'accessibilità della zona i -esima alle attività della zona j -esima; S_j indica la dimensione delle attività nella zona j -esima; T_{ij} definisce la misura della distanza tra zona i -esima e j -esima con un parametro, x , che descrive l'effetto del tempo di viaggio. L'aspetto più criticato di questo approccio è la mancanza di scelta individuale, essendo un modello fortemente deterministico.

Contemporaneamente al pensiero classico di Hansen, si sviluppa un altro approccio all'analisi territoriale articolata dal matematico e studioso di scienze sociali, Alan Wilson. Quest'ultimo fornisce una modellizzazione dell'accessibilità in termini termodinamici, riconducendosi al concetto di entropia: considerando gli individui come delle molecole di un gas, applica il metodo della massimizzazione dell'entropia della massa di individui (soluzione più probabile) per individuare i valori di accessibilità maggiori; si ha entropia massima, quindi massimo disordine, quando tutte le zone sono ugualmente attrattive,

e quando l'equità di distribuzione spaziale delle diverse località è massima. L'indice gravitazionale neoclassico-entropico viene espresso come

$$A_i = \sum_j A_{ij} = \sum_j W_j e^{-bc_{ij}}$$

in cui viene utilizzata la funzione di costo pari a $e^{-bc_{ij}}$ dove la variabile c indica il costo di viaggio mentre b è un parametro positivo da stimare empiricamente.

Questo modello ha sicuramente una base matematica più solida ma il reale sfruttamento del sistema e reale beneficio di una più alta accessibilità sono trascurati.

In questi modelli l'accessibilità è strettamente legata alla funzione del costo medio, definita come l'inverso della distanza tra due località. La formula più usata e conosciuta per calcolare la distanza è quella euclidea $d_{ij}^P = [\sum_k |X_{ik} - X_{jk}|^P]^{1/P}$ ma può assumere diversi significati:

- distanza temporale, intesa come il tempo necessario per andare dal punto A al punto B,
- distanza economica, rappresenta il costo monetario per sostenere la separazione spaziale;
- distanza percepita, calcolata sulla base delle esperienze personali e sul singolo di individuo.

L'approccio maggiormente utilizzato negli studi sull'accessibilità è sicuramente quello gravitazionale, così come proposto da Hansen e successivamente implementato da Wilson. Uno degli aspetti più controversi nell'applicazione sperimentale di questa famiglia di modelli di interazione spaziale è la valutazione dei parametri del modello e quindi la definizione della funzione di impedenza.

Un altro importante approccio da considerare è sicuramente quello microeconomico, sviluppato per affrontare problemi di trasportistica e logistica. In questo caso, la funzione del costo medio è sostituita dalla funzione di utilità data dal beneficio di arrivare alla destinazione sottratto del costo di viaggio. Questo modello è basato su una relazione matematica tra utilità e accessibilità ($U = \ln A$) in quanto definisce l'accessibilità un beneficio per l'individuo.

La formula del calcolo di accessibilità che racchiude i tre tipi di approccio sopra spiegati, gravitazionale, entropico-meccanico ed economico, può essere scritta come

$$A_i = \sum_j W_j f(c_{ij})$$

in cui il primo fattore indica l'attrattività del posto j -esimo e la funzione f diminuisce la facilità di raggiungimento della zona j -esima a seconda del costo dovuto al movimento dal punto i -esimo a quello j -esimo. In questi modelli i problemi più sottolineati nella letteratura sono il fatto che gli spostamenti considerati partono sempre dallo stesso punto di origine ma nella realtà si ipotizza che lo spostamento parta da punti diversi dello spazio; inoltre lo spostamento può avere un solo obiettivo (casa-lavoro, casa-supermercato) e nella misura del tempo non si include il tempo impiegato dentro il luogo stesso. Per affrontare queste criticità bisognerebbe innanzitutto avere a disposizione una maggiore quantità di dati e una capacità di computazione superiore.

Per un lungo periodo di tempo il tema dell'accessibilità è stato limitato dal tipo di dati e strumenti analitici disponibili: «there was no effective means for representing or dealing with the spatial complexity of a realistic urban environment» [Kwan, 2000]. Con l'avanzamento della tecnologia e la creazione di nuovi metodi per la collezione di dati, si sono sviluppati diversi modelli e approcci al calcolo dell'accessibilità, alcuni molto distanti dai modelli classici sopra spiegati. Quello che è di estrema importanza in questo lavoro è il modello di accessibilità secondo l'analisi configurazionale. In quest'ultima la distanza tra i vari elementi che costituiscono la griglia urbana è una distanza di tipo topologico, come ampiamente illustrato nel capitolo 1.

5.1.1.1 Accessibilità topologica

Un primo semplice indicatore è il rapporto tra il numero di nodi della rete e la superficie territoriale: $Dn = \frac{N}{S}$ in cui N rappresenta il numero dei nodi della rete presenti in una determinata superficie S espressa in chilometri quadrati [Alleva, Falorsi, 2009].

Un secondo indicatore è l'indice di densità della rete ed esprime il rapporto tra la lunghezza degli archi che costituiscono la rete e la superficie servita: $D_i = \frac{L}{S}$ dove L indica la somma della lunghezza degli archi presenti sulla superficie S [Alleva, Falorsi, 2009].

A titolo di esempio, si cita il caso studio affrontato da Alleva e Falorsi in cui sono stati calcolati gli indicatori di accessibilità topologica per le regioni dell'Emilia Romagna e della Sicilia suddivisi secondo i comuni: si evidenzia l'elevato numero di comuni con bassa densità di rete (46,7 %) per la Sicilia, mentre in Emilia Romagna la classe maggiormente rappresentata è quella ad elevata accessibilità topologica. Nel caso di Milano si è implementata la *Fewest Line Map (Minimal)* in cui il numero degli assi è ridotto al minimo, e attraverso gli strumenti *Geometry Tool* e *Analyst Tool* si è potuto calcolare il numero totale delle intersezioni della rete (N) e il valore del primo indicatore è risultato essere 8,18 che indica una rete fitta di intersezioni tra le strade; questo è anche visibile dal numero ingente di elementi presenti nella *Segment Map* calcolata dal software DepthMap in cui ogni strada è suddivisa in determinati segmenti a seconda delle intersezioni con altre strade. Il valore della densità di rete della città di Milano calcolato attraverso i valori di *line length* risulta essere 13,94 ed indica che il reticolo viario della città è molto sviluppato. Per avere un termine di paragone si sono calcolati gli stessi indici per la città di Pisa: il primo è 1,25 mentre la densità di rete ottenuta è 0,632; si può concludere che la rete viaria di Milano è ben densa e sviluppata.

Questo tipo di analisi però ha carattere esclusivamente quantitativo e non permette la visualizzazione di aree più accessibili rispetto ad altre; si è quindi sottoposta la griglia urbana di Milano allo studio dell'accessibilità intrinseca dell'analisi configurazionale di *Space Syntax*, quella geometrica.

5.1.2 Accessibilità e Space Syntax

Il tema dell'accessibilità è intrinsecamente connesso all'analisi configurazionale, anzi è proprio quest'ultima in definitiva a presentarsi come una specifica trattazione sull'accessibilità: «[...] space syntax which we consider a special case of accessibility within graphs» [Batty, 2004]. In termini semplicistici, l'apprezzamento dell'accessibilità è stato condotto a livello geografico nella maggior parte dei casi presenti in letteratura mentre nell'approccio configurazionale si opera a livello geometrico. Risulta essere molto interessante ed utile utilizzare l'analisi configurazionale quando si vuole apprezzare l'accessibilità in scala urbana in quanto l'approccio è di tipo morfologico e topologico [Lars, 2014].

In termini generali, gli studi della mobilità urbana e del trasporto che utilizzano la teoria di *Space Syntax* si basano sullo studio del «degree of predictability of the urban configuration» secondo le parole del fondatore della teoria, Bill Hillier. Il concetto di prevedibilità, di cui parla Hillier, viene dall'idea che in ogni sistema spaziale, ciascuna strada urbana ha un livello di attrazione potenziale che dipende dal suo valore di integrazione con le altre strade appartenenti all'intero sistema (rappresentato dall'indice di integrazione globale). Il grado di prevedibilità di una specifica configurazione è legato al livello di correlazione tra l'indice topologico di integrazione di ogni strada e il flusso di utenti che accedono a quella strada (pedoni o veicoli) [Pereira et al. 2012].

5.1.2.1 Accessibilità geometrica e indice di integrazione

Come spiegato nelle righe sopra, nella maggior parte delle analisi spaziali l'accessibilità è calcolata in base alla relativa prossimità di un punto i -esimo ad altri punti j -esimi ed è esprimibile attraverso la formula generica $A_i = \sum_j f(W_j, d_{ij})$ in cui W è l'indice di attrazione e il termine d di impedenza. Da questa definizione è facile osservare come l'analisi configurazionale non è in grado di trattare il tema dell'accessibilità nel modo tradizionale in quanto non calcola nessun tipo di indice di attrattività di una determinata zona. È necessario quindi porre la questione in altro modo: l'accessibilità viene calcolata considerando determinati spazi o siti che non sono caratterizzati da attributi e viene definita accessibilità geometrica in quanto indica la prossimità tra gli spazi. «If geographic accessibility is the proximity of places, then geometric accessibility is the proximity of spaces, i.e. setting $W_j = 1$ », con queste parole viene illustrata la distinzione tra l'accessibilità geografica (quella classica caratterizzata dal calcolo dell'attrattività delle destinazioni) e l'accessibilità geometrica definita dall'analisi configurazionale [Lars, 2014]. La formula dell'accessibilità geometrica può quindi essere espressa come:

$$A_i = \sum_j A_{ij} = \sum_j f(d_{ij})$$

in cui il peso, quindi l'attrattività di ogni destinazione, è reso costante. Nell'analisi configurazionale l'unità di misura dell'accessibilità possono essere i *topological steps* nella griglia oppure la distanza metrica euclidea.

La formula più ricorrente nell'analisi configurazionale calcola la distanza attraverso il

numero di *steps* tra due nodi, i -esimo e j -esimo, in un grafo indicata con la lettera S in Jiang et al. 2000:

$$A_i = \sum_j \frac{1}{S_{ij}}$$

È possibile ricavare questa sintassi per il calcolo dell'accessibilità dai principi stocastici di minimizzazione dello sforzo: si supponga che lo sforzo per andare dal nodo i -esimo al nodo j -esimo possa essere rappresentato da una variabile casuale X_{ij} che abbia valore atteso pari a S_{ij} . La casualità dello sforzo potrebbe indicare che i diversi utenti che si muovono all'interno della rete urbana hanno una diversa percezione dello sforzo, inteso come numero di *steps*, per andare da una posizione ad un'altra; ogni utente tende a trovare il nodo che è più semplice da raggiungere secondo il suo livello di sforzo. Di conseguenza, un utente che si trova al nodo i -esimo cerca di trovare il nodo j -esimo che minimizza il suo sforzo di spostamento; quest'ultimo può essere rappresentato anche come una variabile casuale $X_i^* = \min X_{ij}$. Supponendo inoltre che tutte le variabili X_{ij} siano variabili indipendenti e distribuite esponenzialmente con un valore atteso pari a S_{ij} rispettivamente, allora l'accessibilità calcolata nell'analisi configurazionale può essere espressa come $A_i = \frac{1}{E[X_i^*]}$. In parole povere, l'accessibilità geometrica, propria della *Space Syntax*, è rappresentata dal valore reciproco del valore atteso dello sforzo per muoversi dal nodo i -esimo al nodo j -esimo della rete urbana a cui corrisponde il minimo valore di sforzo [Lars-Göran, 2009].

Il concetto di accessibilità geometrica è tradotto nell'indice di integrazione in termini configurazionali. La relazione che sussiste tra i due concetti è ampiamente spiegata da Jiang, Claramunt e Batty che definiscono la misura di integrazione come:

$$I_i = \frac{n-2}{2(D_i-1)}$$

in cui $D_i = \sum \frac{S_{ij}}{n-1}$ indica la profondità media (concetto spiegato nel primo capitolo).

Al fine di aggiungere l'informazione geografica alla misura di accessibilità dell'analisi configurazionale, si stanno portando avanti molte ricerche, tra cui quella capitanata da Marcus Lars in cui si considerano i termini di accessibilità geometrica e geografica contemporaneamente attraverso l'implementazione del mezzo *Place Syntax Tool* in sistemi GIS [Lars, 2014].

Lo strumento utilizzato in questo lavoro per implementare l'analisi configurazionale sulla città di Milano, Depthmap, permette di calcolare l'accessibilità attraverso tre tipi di distanza:

- distanza metrica (quella euclidea);
- distanza topologica (basata sul minor numero di svolte e cambi di direzione nel percorso);
- distanza angolare (in termini di minor angolo di incidenza delle *lines* che si intersecano).

Si propongono ora, diversi scenari ambientati nella città di Milano.

5.2 Diversi scenari sulla città di Milano

L'obiettivo ultimo di questo lavoro è dimostrare che l'analisi configurazionale è in grado di orientare e supportare l'assunzione di scelte strutturali e decisioni localizzative nella pianificazione urbana. Questo obiettivo lo si raggiunge mostrando possibili casi applicativi e differenti scenari di pianificazione su alcune problematiche del sistema urbano della città di Milano, in ognuno dei quali si valuta in che veste *Space Syntax* potrebbe rappresentare un efficiente mezzo di supporto alla decisione del pianificatore.

L'importanza dell'analisi configurazionale nella pianificazione e nel processo di *decision-making* è dovuta alla sua analisi oggettiva e scientifica dello spazio e consiste nel fornire un'analisi delle potenziali opportunità e i possibili difetti di un'area urbana secondo l'assetto strutturale dell'area stessa, evidenziando come una zona potrebbe attrarre o respingere il movimento degli utenti (in particolare i pedoni); inoltre lo strumento di *Space Syntax* offre delle possibilità su come migliorare l'area urbana agendo sulla viabilità commerciale, sullo sviluppo sostenibile della forma urbana attraverso delle strategiche linee guida dedotte appunto dagli indici configurazionali [Charalambous, 2014].

Questo lavoro ha l'obiettivo di esplorare le potenzialità e i limiti dell'applicazione di *Space Syntax* alle analisi urbane della città di Milano, vengono quindi illustrati diversi casi applicativi definiti scenari in cui in alcuni si utilizza esclusivamente l'informazione fornita dall'approccio configurazionale mentre in altri si affianca a questa un tipo di informazione geografica.

5.2.1 Scenario A: accessibilità pedonale

Le tecniche di analisi configurazionale sono principalmente mirate allo studio della distribuzione dei movimenti pedonali all'interno della griglia urbana su cui agisce.

Come spiegato poco sopra l'indice di integrazione è strettamente legato al concetto di accessibilità, la cui entità varia a seconda del valore del raggio intorno ad ogni singolo elemento del sistema. L'esecuzione dell'analisi configurazionale della città di Milano per diversi valori del raggio permette di avere una precisa spazializzazione del fenomeno del movimento: il movimento pedonale è caratterizzato da moderati valori del raggio di spostamento. Con questa premessa, la tecnica configurazionale più idonea a questo tipo di studio è la *Segment Analysis* in cui l'elemento minimo è il *segment* (in quanto ciascuna *line* viene spezzata in segmenti in corrispondenza delle intersezioni con altre *lines*) e il raggio metrico scelto è di 1000 metri, corrispondente ad una camminata di circa 13 minuti.

La Figura 5.1 mostra la distribuzione dell'accessibilità per i pedoni all'interno della città di Milano. Attraverso questo tipo di analisi si può giungere a diverse considerazioni: il movimento pedonale si concentra soprattutto nell'area centrale della città e in particolare in alcuni degli *Integration Cores* individuati nel capitolo 4:

- il centro storico della città, in cui via Dante, via Orefici e via Mercanti assumono i valori più alti di integrazione ed effettivamente sono vie molto frequentate dal flusso pedonale,
- la zona di Porta Venezia, in cui viale Regina Giovanna rappresenta l'asse più facilmente raggiungibile,
- il quartiere Wagner, in cui via Maria Pagano è la più integrata in questo tipo di analisi.

Integration R = 1000 m

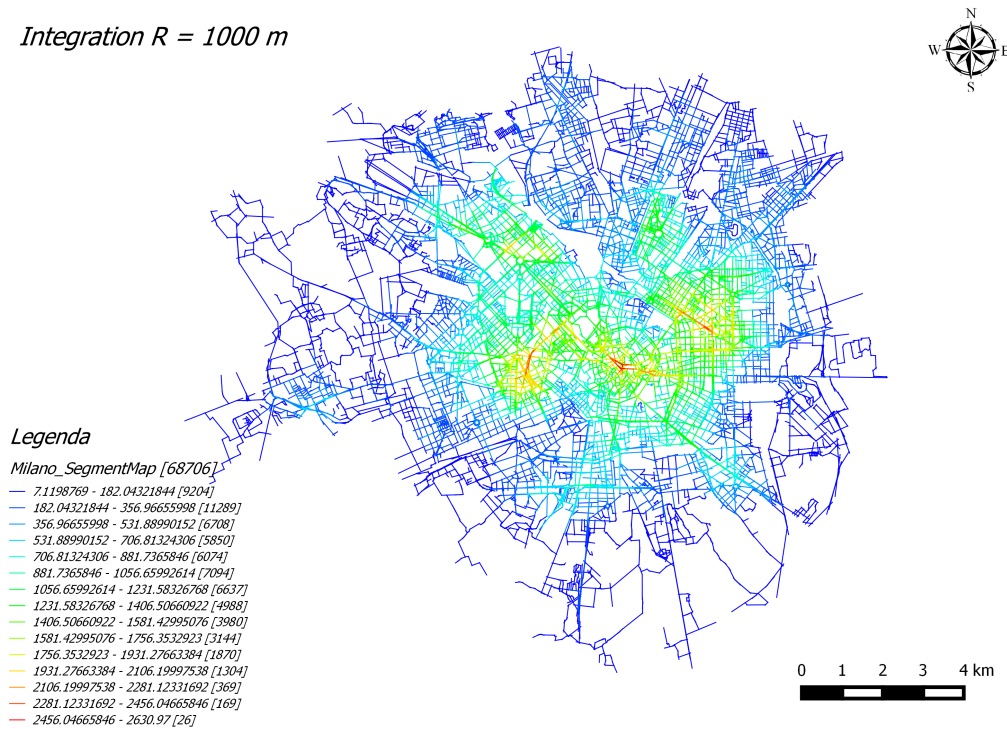


Figura 5.1: Accessibilità pedonale: distribuzione dell'indice di integrazione sulla Segment Map di Milano con raggio metrico pari a 1000 metri.

I bacini di attrazione dei pedoni sono quindi facilmente individuabili e l'efficienza della localizzazione di servizi pubblici rivolti ai cittadini in queste potrebbe assumere un valore alto, in quanto rappresentano gli spazi aperti più accessibili all'interno della città di Milano a piedi e in un raggio metrico pari a 1000.

5.2.2 Scenario B: accessibilità veicolare - localizzazione di parcheggi

Il mezzo di supporto fornito dall'analisi configurazionale che meglio si presta nella descrizione di accessibilità veicolare è l'*Axial Map* su cui viene rappresentata la distribuzione dell'indice di integrazione con raggio topologico pari ad n. La scelta dell'*Axial Map* è dovuta alla preferenza degli utenti di lunghi assi da percorrere in macchina piuttosto

che tratti brevi, ed è stato selezionato il raggio topologico pari ad n in quanto ricopre l'intera mappa in oggetto. Questo tipo di output dell'analisi configurazionale è stato ampiamente studiato nel capitolo 4, in questo tipo di analisi è però necessario modificare la mappa in ingresso eliminando quelle strade di solo accesso pedonale, come parte dell'Alzaia Naviglio Grande e Ripa di Porta Ticinese, via Paolo Sarpi, via Dante e via Mercanti, via Vittorio Emanuele II e chiudendo l'accesso al Parco Sempione e a City Life e aggiungendo il Cavalcavia Adriano Bacula, come illustrato nella Figura 5.2.



Figura 5.2: *Principali modifiche del dato in ingresso per valutare l'approccio dell'accessibilità veicolare.*

In questo paragrafo si vuole descrivere un particolare esempio dell'utilizzo dell'analisi configurazionale nella pianificazione territoriale.

Si supponga di dover studiare una possibile localizzazione ottimale per i parcheggi di interscambio all'interno della città di Milano al fine di promuovere l'utilizzo di mezzi pubblici per il flusso di utenti che arrivano dall'esterno della città. Il Codice della Strada italiano definisce il parcheggio scambiatore così: «Parcheggio scambiatore: parcheggio

situato in prossimità di stazioni o fermate del trasporto pubblico locale o del trasporto ferroviario, per agevolare l'intermodalità.» (Art. 3, comma 1, punto 34-bis del Codice della Strada introdotto dal D.L. 27 giugno 2003, n. 151). In questo tipo di studio, considerare contemporaneamente la posizione di tutte le stazioni del trasporto pubblico e di quello ferroviario non avrebbe senso, ci si limita quindi ad individuare quelle zone in cui l'accessibilità veicolare assume livelli relativamente alti, avendo in mente di supporre di posizionare dei parcheggi di interscambio e quindi di individuare quei luoghi facilmente raggiungibili e contemporaneamente situati in prossimità del centro urbano, ma non al suo interno; una possibile applicazione è mostrata in Figura 5.3.

Integration, Milano
Localizzazione parcheggi

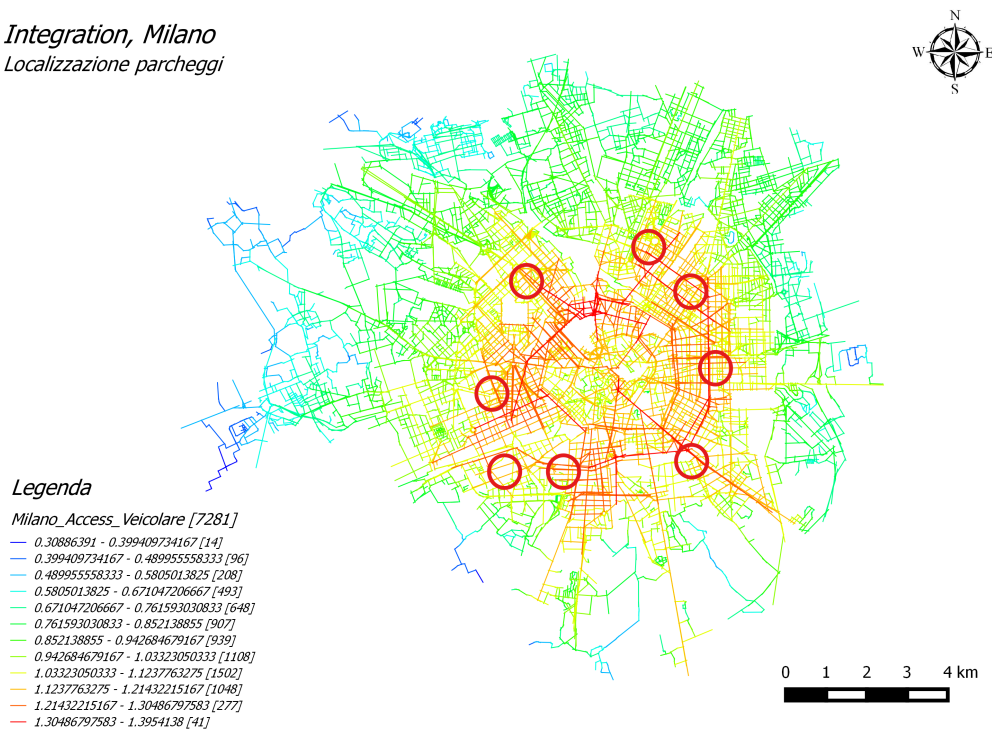


Figura 5.3: Localizzazione dei parcheggi di interscambio attraverso la distribuzione dell'indice di integrazione globale sulla città di Milano.

Per avere un riscontro della situazione attuale, si sono sovrapposte la mappa dell'analisi configurazionale dell'indice di integrazione globale con i potenziali luoghi in cui

poter localizzare i parcheggi scambiatori e le posizioni dei parcheggi di interscambio esistenti (Figura 5.4). In questo modo si potrebbe integrare la distribuzione dei parcheggi in quelle zone dove non sono presenti ma che sono facilmente accessibili secondo l'analisi configurazionale e si trovano in prossimità del centro della città. In questo scenario si è quindi fornito un esempio di come l'informazione calcolata tramite *Space Syntax* (distribuzione dell'accessibilità veicolare) e l'informazione geografica (localizzazione dei parcheggi esistenti) possano essere integrate e assumere un ruolo interessante nella possibile pianificazione delle localizzazioni di futuri parcheggi di interscambio.

Integration, Milano
Localizzazione parcheggi

- esistenti
- proposti

Legenda

Milano_Access_Veicolare [7281]

- 0.30886391 - 0.399409734167 [14]
- 0.399409734167 - 0.48995558333 [96]
- 0.48995558333 - 0.5805013825 [208]
- 0.5805013825 - 0.671047206667 [493]
- 0.671047206667 - 0.761593030833 [648]
- 0.761593030833 - 0.852138855 [907]
- 0.852138855 - 0.942684679167 [939]
- 0.942684679167 - 1.03323050333 [1108]
- 1.03323050333 - 1.1237763275 [1502]
- 1.1237763275 - 1.21432215167 [1048]
- 1.21432215167 - 1.30486797583 [277]
- 1.30486797583 - 1.3954138 [41]

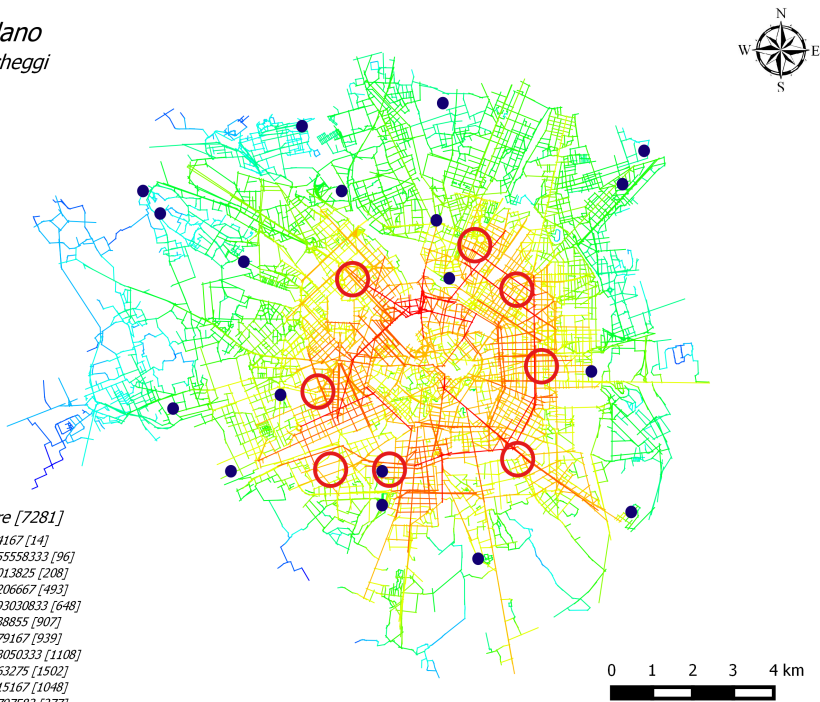


Figura 5.4: Localizzazione dei parcheggi: esistenti e proposti attraverso Space Syntax.

5.2.3 Scenario C: accessibilità ciclabile - localizzazione di stazioni di biciclette

Nel corso degli ultimi anni, l'uso della bicicletta a Milano è in crescita e si sono implementati diversi strumenti di pianificazione finalizzati a rendere la città maggiormente ciclabile, un esempio è il PUMS, Piano Urbano Mobilità Sostenibile che promuove diversi servizi per stimolare la mobilità dolce in città. In questo paragrafo ci si chiede se l'analisi configurazionale possa rappresentare un utile mezzo di analisi e supporto a questo tipo di pianificazione.

Oltre all'accessibilità pedonale e veicolare, i risultati ottenuti dall'analisi configurazionale possono infatti, essere utilizzati anche per lo studio dell'accessibilità ciclabile. Questo è reso fattibile dalla possibilità di cambiare il valore del raggio di calcolo dell'indice di integrazione nelle analisi di *Space Syntax*. Come per lo studio dell'accessibilità pedonale, anche per quello dell'accessibilità ciclabile si è scelto di utilizzare la *Segment Map*; in questo caso il raggio metrico è stato fissato pari a 5000 metri. In questo caso, come si evince dalla Figura 5.5, il centro di Milano che si espande fino alla circonvallazione esterna presenta alti valori di accessibilità per quegli utenti che si spostano in bicicletta.

Integration R = 5000 m

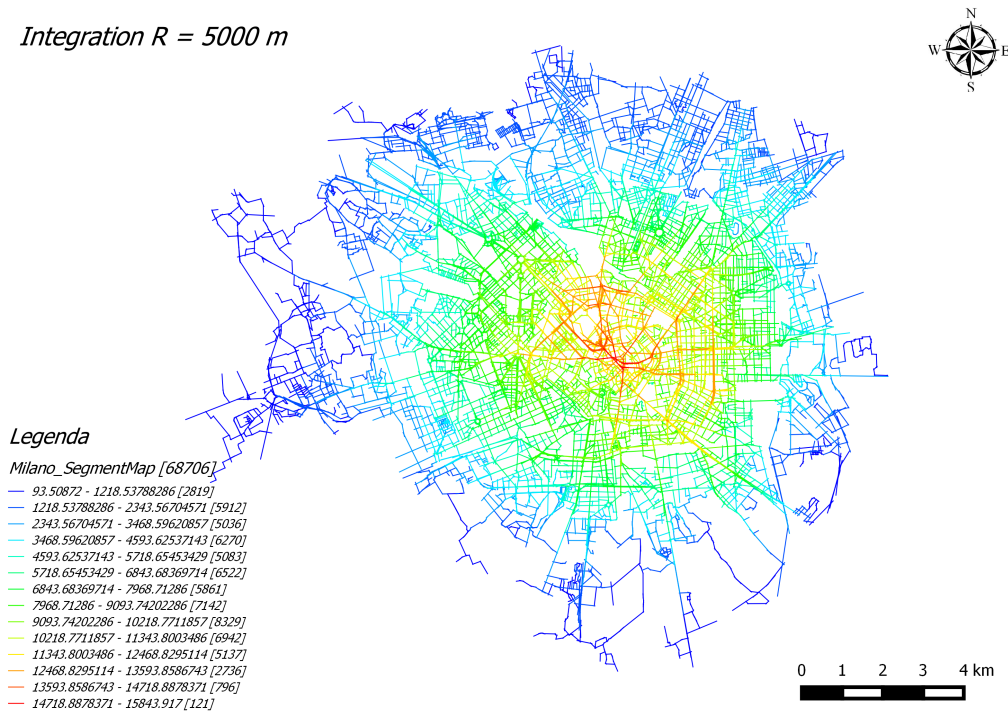


Figura 5.5: Accessibilità ciclabile: distribuzione dell'indice di integrazione sulla Segment Map di Milano con raggio metrico pari a 5000 metri.

Si supponga ora di dover decidere di localizzare delle stazioni per le biciclette, i cosiddetti portabici, nella città di Milano: attraverso la distribuzione dell'indice di accessibilità ciclabile della griglia urbana milanese, si possono individuare quelle vie maggiormente accessibili per i ciclisti e quindi decidere di intensificare il numero dei portabici in quelle strade. Osservando ancora la Figura 5.5, è possibile individuare delle localizzazioni per le stazioni di biciclette in particolare in via Dante, via Broletto, corso Magenta e via Meravigli, via Orefici e via Mercanti che raggiungono la piazza del Duomo; e inoltre corso Vittorio Emanuele II e via Giuseppe Mazzini in quanto rappresentano in assoluto le vie più integrate secondo un raggio di 5000 metri, e inoltre l'asse Buenos Aires - Venezia che risulta essere il più utilizzato in assoluto dai ciclisti secondo il Progetto Ciclabilità del Comune di Milano. Queste strade appartengono a quei bacini di attrazione che sono

raggiungibili in bicicletta poichè posizionate all'interno di «buffer» di 5000 metri.

La localizzazione delle stazioni di biciclette potrebbe essere, inoltre, migliorata attraverso l'analisi configurazionale considerando non solo l'indice di *Integration* per considerare la variabile dell'accessibilità ma anche l'indice di *Choice* per tener conto delle vie maggiormente frequentate nell'analisi di raggio metrico pari a 5000 metri (Figura 5.6). Così facendo, è possibile individuare quelle vie che appartengono ai bacini di attrazione per i ciclisti in termini di accessibilità e che contemporaneamente sono le vie più frequentate: lungo la circonvallazione dei Bastioni di Porta Venezia, corso Giacomo Matteotti che sfocia in corso Monforte, corso di Porta Romana e corso Italia, via Torino, via Mario Pagano, e al di fuori della circonvallazione esterna via Vitruvio e via Melchiorre Gioia; oltre a quelle sopra citate che presentano anche un indice di *Choice* elevato.

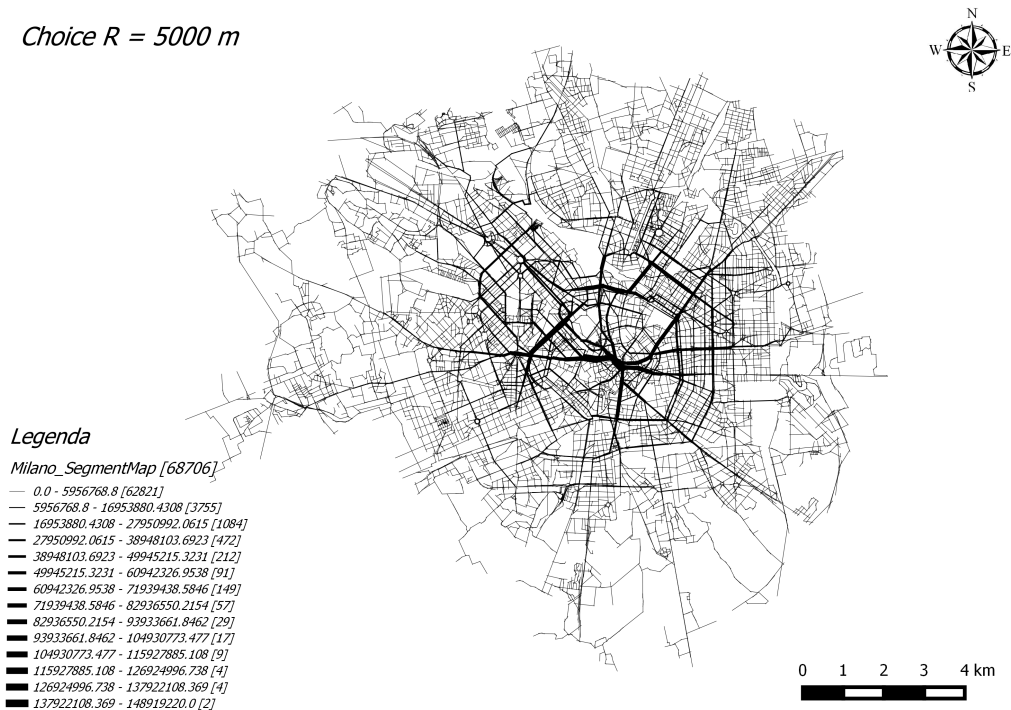


Figura 5.6: Accessibilità ciclabile: distribuzione dell'indice di *Choice* sulla Segment Map di Milano con raggio metrico pari a 5000 metri.

«Il Comune di Milano ha scelto di installare nuove rastrelliere e sostituire i vecchi portabici con un nuovo modello funzionale e più sicuro contro i furti creando 1.300 posti in più entro la fine del 2012 e programmando l'istituzione di 1.000 nuovi posti ogni anno fino al 2015. I luoghi privilegiati sono le stazioni ferroviarie, della metropolitana, il capolinea delle metrotramvie e le scuole a sostegno di una mobilità sostenibile», così il Comune di Milano ha descritto i suoi progetti per la mobilità dolce in città; l'analisi configurazionale potrebbe rappresentare un mezzo di supporto nella localizzazione di nuovi portabici come sopra mostrato, in vista anche dei nuovi obiettivi che il Comune si prefigge: la realizzazione di depositi chiusi, video sorvegliati, per posteggiare le biciclette in sicurezza 24 ore su 24 [Comune di Milano].

5.2.4 Scenario D: localizzazione delle biblioteche

Mentre l'indice di integrazione è l'indicatore che più si addice all'ottimizzazione della distribuzione dei servizi per la mobilità in quanto strettamente legato al significato di accessibilità, un parametro differente può essere utilizzato come criterio per definire la localizzazione di servizi per l'informazione e consultazione di archivi e la distribuzione delle biblioteche all'interno di un sistema insediativo.

Nel caso studio che si sta affrontando, la posizione delle biblioteche è di fondamentale importanza essendo Milano una città universitaria: Milano attrae circa il 10% degli studenti italiani (Ufficio statistica MIUR) attraverso undici sedi universitarie, Politecnico, Bocconi, Cattolica, Statale, IULM, Università Vita e Salute del San Raffaele, Università degli Studi Milano Bicocca, Accademia di Brera, Conservatorio e Nuova Accademia di Belle Arti. Il servizio bibliotecario è un servizio pubblico in gran parte usufruito dagli studenti ma che può essere pensato come luogo che permette all'utente di avere un momento di relax, di distrazione in cui potersi concentrare nella lettura di quotidiani, riviste e libri. Questo vale in particolar modo per gli studenti, poichè necessitano di luoghi non frequentati e poco affollati, che permettano loro di potersi concentrare facilmente nello studio.

Qualora si supponga, come quindi pare ragionevole, di assumere come elemento di decisione per la scelta di localizzazione dei vari servizi bibliotecari la lontananza dal traffico e dalle vie eccessivamente frequentate, l'indice che più si adatta al supporto della scelta localizzativa delle biblioteche sembra essere l'indice di *Choice*.

Attraverso l'analisi configurazionale, si possono individuare quelle zone in cui si riscontrano contemporaneamente valori medi-bassi dell'indice di *Choice* per permettere all'utente di concentrarsi e valori alti di *Global Integration* per permettere all'utente di raggiungere facilmente la destinazione desiderata; si è scelto l'indice di integrazione globale poichè si suppone che i fruitori dei servizi bibliotecari, per la maggior parte studenti, usino i mezzi di trasporto pubblico.

In questo caso, si è giunti alla realizzazione di questo strumento di visualizzazione e supporto alla decisione attraverso lo strumento *Select by expression* di QGIS attraverso cui si sono selezionate contemporaneamente quelle strade con un indice di *Choice* basso, quelle che ricadono nella metà di tutte le linee con valori bassi dell'indice, e quelle strade con un indice di *Integration* alto, il 10% delle *lines* più integrate, tramite l'operatore booleano *AND* (si rimanda all'Appendice per approfondimenti) e si riporta l'esempio in Figura 5.7.

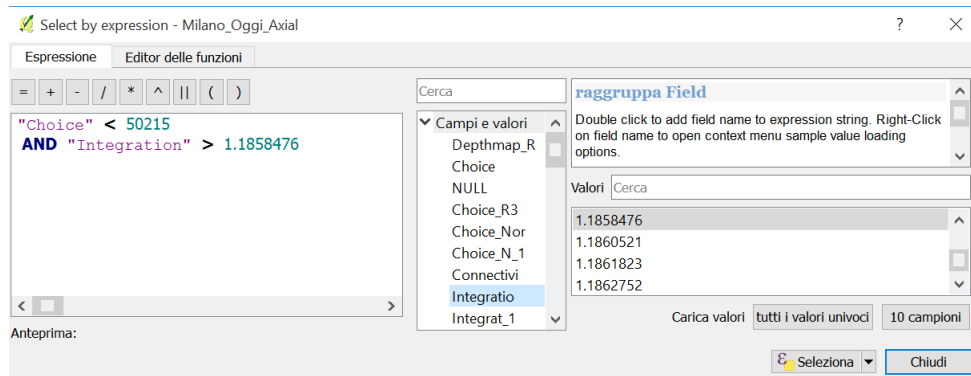


Figura 5.7: Operazione «*Select by expression*» su QGIS per individuare le strade con bassi valori dell'indice di *Choice* e alti dell'indice di *Integration*.

Gli elementi così selezionati individuano quelle parti del sistema urbano della città in cui entrambe le condizioni sopra descritte sono soddisfatte, Figura 5.8.

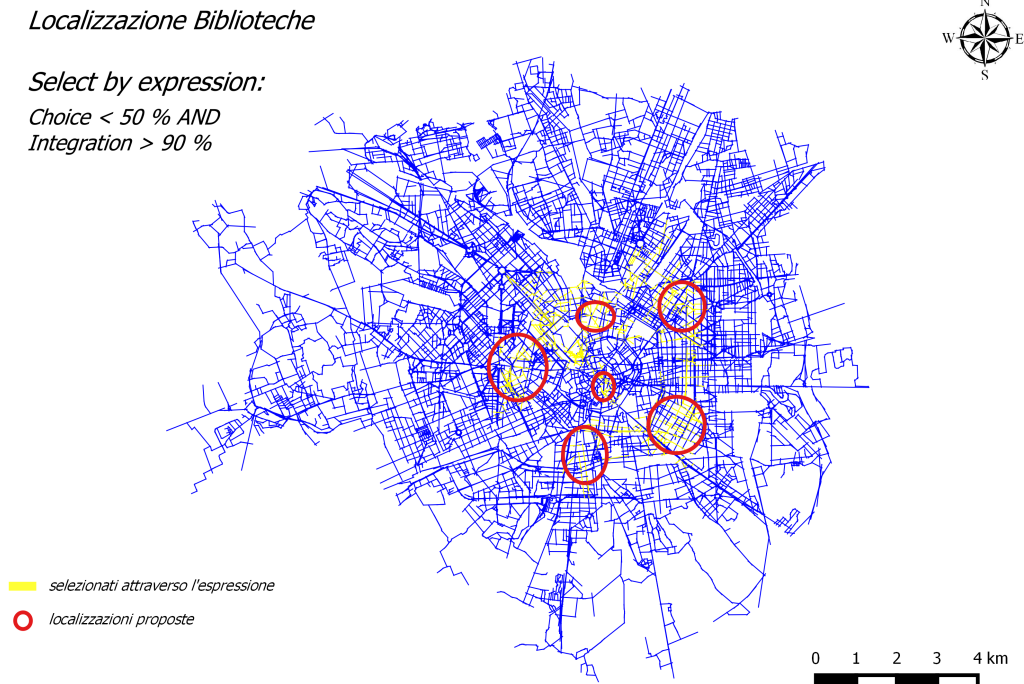


Figura 5.8: Localizzazione delle biblioteche attraverso una selezione di tipo algebrica sugli indici configurazionali.

In questo caso è sembrato interessante provare a ricorrere alla costruzione di un indice composto che possa sintetizzare le informazioni dettate dai due indicatori coinvolti; in questo modo si hanno delle informazioni sintetiche e non frammentate su ciascun indicatore. Nella costruzione di un indice composto gli indicatori possono essere ponderati in modo da applicare uno specifico peso proporzionale all'importanza che rivestono nella determinazione dell'indice sintetico e aggregati attraverso combinazioni logico-matematiche. Come funzione di aggregazione è stata scelta la funzione additiva. Infatti nonostante l'obiettivo specifico di questo scenario, ossia selezionare gli assi che presentano contemporaneamente un alto valore dell'indicatore di *Integration* e un basso livello di *Choice*, si tradurrebbe con l'espressione logica *AND* (come avvenuto nella selezione precedente) e quindi con una funzione moltiplicativa, i due indicatori non so-

no inversamente proporzionali e l'indice moltiplicativo evidenzierebbe pochissimi tratti stradali. Si è dunque scelto un indice additivo che fornisce la possibilità di ponderare il valore dei due indicatori in gioco. Un possibile indice potrebbe essere così formulato: $L = w_1Int + w_2(1/Ch)$. Nella fase di ponderazione l'approccio scelto è stato quello soggettivo, in quanto il valore del peso di ciascun indicatore varia a seconda dell'obiettivo e dello scenario specifico; in questa sede si è fissato il peso dell'indicatore di integrazione pari a 0.4 e quello di scelta a 0.6. Il risultato è illustrato in Figura 5.9, non distante da quello precedente. Inoltre, come sviluppato per lo scenario delle possibili localizzazioni dei parcheggi di interscambio, anche in questo esempio applicativo si vuole integrare l'informazione configurazionale con quella geografica. Dal sito del Comune di Milano si reperiscono le localizzazioni delle biblioteche presenti all'interno del comune di Milano; con questa metodologia si possono individuare quelle zone che soddisfano le due condizioni imposte e che quindi sono poche frequentate ma accessibili e dove non sussiste nessun sistema bibliotecario. La Figura 5.9 rappresenta una possibile illustrazione secondo cui si potrebbe pensare di integrare il sistema bibliotecario della città lungo Corso Sempione o nelle vie limitrofe, facilmente raggiungibile anche con i mezzi di trasporto pubblico (stazione ferroviaria Domodossola, stazione metropolitana Gerusalemme e 5 linee del tram), lungo via Melchiorre Gioia e nelle vicinanze della stazione Centrale, tra Loreto e Corso Buenos Aires, essendo inoltre una zona molto frequentata dagli studenti, nelle zone di Lodi e Corvetto, e ancora si potrebbe ipotizzare una localizzazione nel quartiere Tortona, anche in vista dei cambiamenti e riqualificazioni urbanistiche in atto, e nel quartiere Wagner.

Localizzazione Biblioteche

- esistenti
- proposte

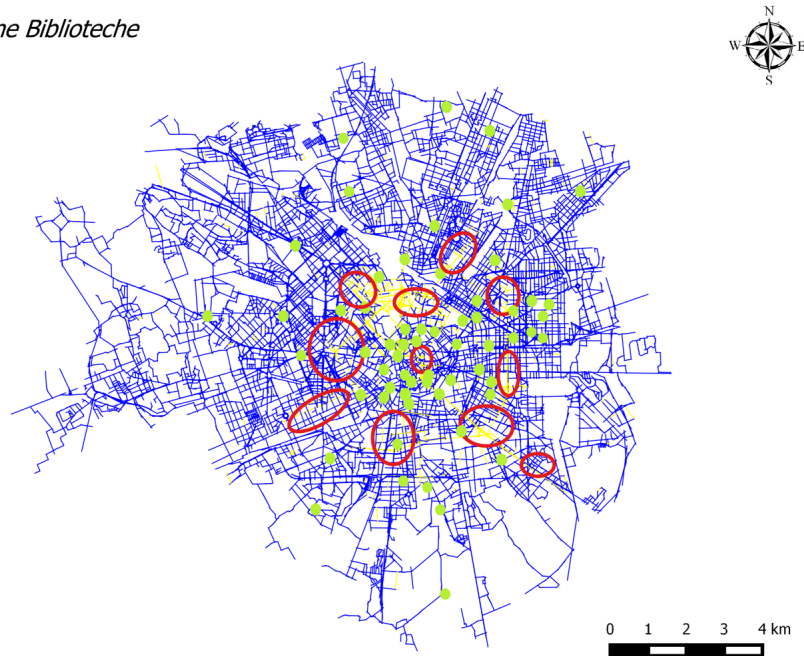


Figura 5.9: Localizzazione delle biblioteche: esistenti e proposte attraverso Space Syntax.

5.2.5 Scenario E: ZTL

Le Zone a Traffico Limitato (ZTL) sono delle aree situate in punti della città, come nei centri storici, per limitare il traffico di veicoli sotto una specifica classe di emissione, di una specifica data di omologazione e di un certo peso. Gli scopi principali di questo provvedimento sono limitare i livelli di inquinamento atmosferico nelle zone centrali della città, mantenere in sicurezza il centro storico, specialmente durante gli orari di affluenza di pedoni e veicoli, e aumentare le entrate amministrative attraverso il pagamento di un pedaggio urbano.

La città di Milano è caratterizzata dalla presenza di due zone a traffico limitato protette con telecamere: Area C e I Navigli.

L'Area C del comune di Milano è un'area del centro storico della città con restrizioni di accesso per alcune tipologie di veicoli; è attiva nei giorni feriali (dal lunedì al venerdì dalle ore 7:30 alle ore 19:30, eccetto per il giovedì dalle ore 7:30 alle ore 18:00). L'accesso è gratuito per i veicoli elettrici, ciclomotori e motoveicoli, per veicoli che trasportano disabili oppure persone dirette al pronto soccorso ospedaliero. L'accesso è vietato ai veicoli a benzina Euro 0 e a gasolio/diesel Euro 0, 1, 2 e 3, ai veicoli di lunghezza superiore ai 7,5 metri. L'accesso è a pagamento per tutti gli altri veicoli attraverso uno specifico ticket. L'Area C vuole migliorare le condizioni di vita per chi vive, lavora, studia e visita la città; i suoi obiettivi sono: ridurre il traffico nella ZTL *Cerchia dei Bastioni*; rendere più efficaci le reti di trasporto pubblico e favorirne lo sviluppo, salvaguardare il diritto alla mobilità individuale nel rispetto dell'interesse comune; reperire risorse da destinare alla mobilità sostenibile: pedonalità, ciclabilità e traffico a velocità moderata; migliorare la qualità urbana riducendo il numero di incidenti, la sosta selvaggia, l'inquinamento acustico e atmosferico (Comune di Milano).



Figura 5.10: Area C di Milano (mappa del Comune di Milano).

La ztl dei Navigli è articolata in quattro sottoaree: l'Area Pedonale esistente, l'Alzaia Naviglio Grande, nel tratto compreso tra via Gorizia e via Corsico e tra via Casale e via Valenza; la Sottoarea A, l'Alzaia Naviglio Grande, nel tratto compreso tra via Corsico e via Casale, via Corsico, via Casale; la Sottoarea B, Ripa di Porta Ticinese, nel tratto compreso tra via Gorizia e via Paoli; la Sottoarea C, l'Alzaia Naviglio Pavese, nel tratto compreso tra via Gorizia e via Darwin, via Magolfina - nel tratto compreso tra via Fusetti

e Alzaia Naviglio Pavese. L'area pedonale è attiva dalle ore 00:00 alle ore 24:00 tutti i giorni della settimana; la zona a traffico limitato è attiva dalle ore 20:00 alle ore 07:00 tutti i giorni della settimana.

L'analisi configurazionale permette di osservare diversi scenari relativi al cambiamento del flusso veicolare a seconda della perimetrazione delle zone a traffico limitato.

Si supponga per esempio, che il Comune di Milano prenda la decisione di chiudere tutti gli accessi alla zona a traffico limitato dell'Area C, non permettendo ai mezzi privati di accedere all'interno della cerchia dei Bastioni durante la settimana lavorativa. Si nomina la situazione esistente *Scenario 0*, mentre *Scenario 1* è riferito al caso che si vuole ora analizzare: la chiusura dell'Area C ai veicoli motorizzati. Ci si chiede verso quali cambiamenti, in termini di analisi configurazionale, porterebbe una tale decisione: come diverrebbe la distribuzione degli indici configurazionali più importanti? quali sarebbero gli assi stradali che potrebbero beneficiare di questa decisione? si formerebbero diverse centralità urbane (*Integration cores*) rispetto alla situazione originaria? cambierebbero il flusso di movimento e le strade maggiormente frequentate?

Per rispondere a queste domande, si è sottoposta ad analisi configurazionale la mappa della città di Milano priva dell'intera area del centro storico che si espande fino alla circonvallazione esterna, l'Area C appunto (Figura 5.11). Essendo una limitazione di mobilità per veicoli motorizzati, si considera solamente un tipo di accessibilità veicolare, trascurando quella pedonale e ciclabile.

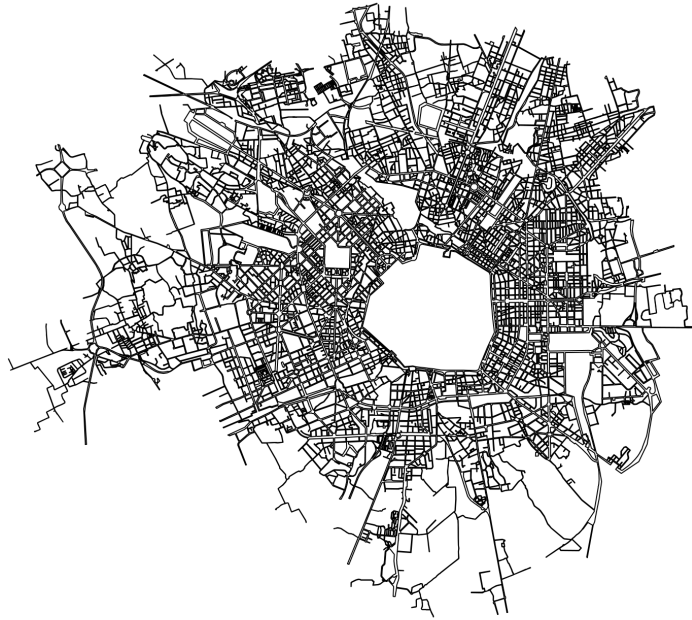


Figura 5.11: *Mappa di Milano priva dell'Area C.*

È sorprendente come pur eliminando una grossa parte della griglia urbana milanese (l'Area C si espande per $8,2 \text{ km}^2$), le centralità urbane individuate nello scenario originario mantengono dei valori dell'indice di integrazione globale molto alti. In particolare, di notevole interesse è l'aumento dell'accessibilità di tutte le strade che costituiscono la circonvallazione esterna della città di Milano; mentre nelle mappe precedenti le strade della circonvallazione esterna maggiormente integrate erano nella parte sud ed est della stessa, con l'eliminazione dell'Area C la forma della circonvallazione esterna è più percepibile e completa nella visualizzazione delle vie più accessibili. Dalla Figura 5.12 è possibile inoltre individuare gli assi che beneficerebbero di questo cambiamento dell'assetto configurazionale in termini di aumento della loro accessibilità geometrica. Via Melchiorre Gioia acquista maggiore accessibilità assieme alle vie Luigi Galvani che sfocia in via Vitruvio e via Tonale che diventa via Giovanni Battista Pergolesi nei dintorni della stazione Centrale e Viale Brianza; la parte di circonvallazione costituita da viale Abruzzi, viale dei Mille, viale Umbria fino a viale Isonzo assume valori molto alti del-

l'indice di integrazione assieme ai Viali Ergisto Bezzi e Monte Ceneri, che costituiscono difatti delle strade molto trafficate durante la settimana lavorativa. Un'altra zona che acquisterebbe valore in termini configurazionali, se l'Area C fosse completamente chiusa ai veicoli, è il quartiere Wagner e in particolare via Mario Pagano, ben integrata anche nello scenario originario, e le due vie parallele, via Vincenzo Foppa che sfocia in via Lorenteggio e via Cola di Rienzo, nella zona Solari. Attraverso questo tipo di analisi si individuano le strade caratterizzate da un alto valore dell'indice di integrazione e quindi quelle strade che acquisterebbero maggiore accessibilità all'interno della città secondo la teoria configurazionale.

*Global Integration, Milano
senza ztl Area C*

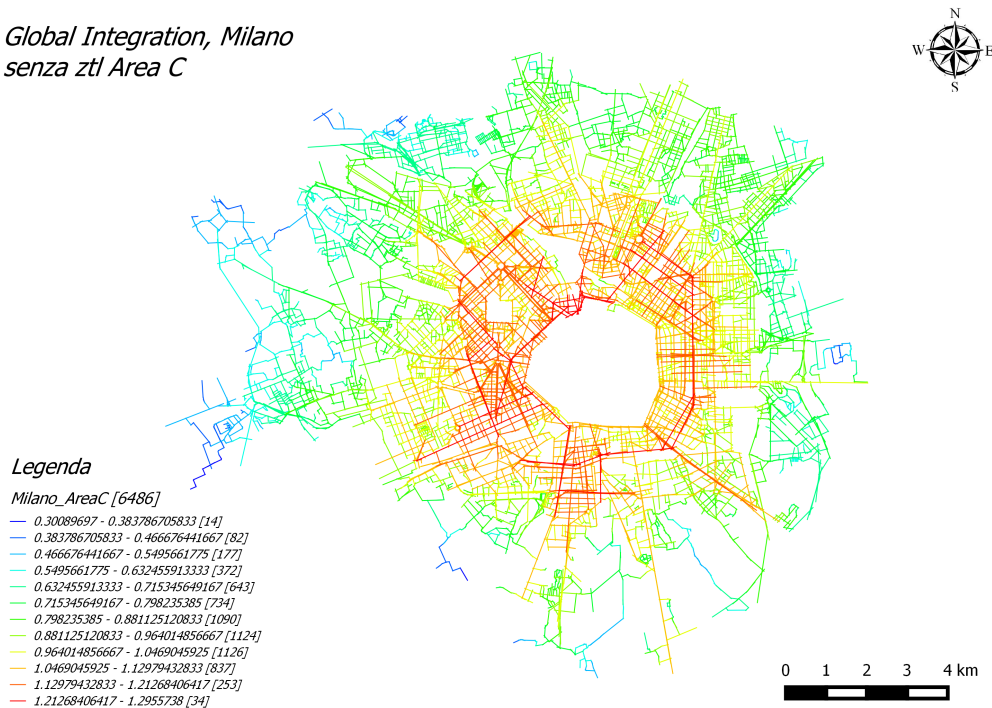


Figura 5.12: Distribuzione dell'indice di Integration sulla città di Milano priva dell'Area C.

Oltre allo studio di un possibile cambiamento in termini di accessibilità, si può analizzare questo scenario attraverso la mappa su cui è mostrata la distribuzione dell'indicatore configurazionale *Choice* al fine di individuare le strade più frequentate dalle macchine,

nel caso fosse vietato loro l'accesso al centro della città. Come si evince dalla Figura 5.13, l'analisi attraverso l'indice di *Choice* conferma i risultati ottenuti dallo studio di accessibilità veicolare del sistema.

*Choice, Milano
senza ztl Area C*



Figura 5.13: *Distribuzione dell'indice di Choice sulla città di Milano priva dell'Area C.*

Un altro scenario possibile, *Scenario 2*, potrebbe consistere nel vietare completamente l'accesso ai veicoli alla ztl dei Navigli. In questo caso la modifica apportata è di minor entità rispetto a quella dello *Scenario 1*, infatti la distribuzione degli indici configurazionali non varia molto dalla situazione originaria, *Scenario 0*, come illustrato visivamente attraverso le due mappe sottostanti, Figura 5.14 e Figura 5.15.

*Integration, Milano
senza ztl Navigli*

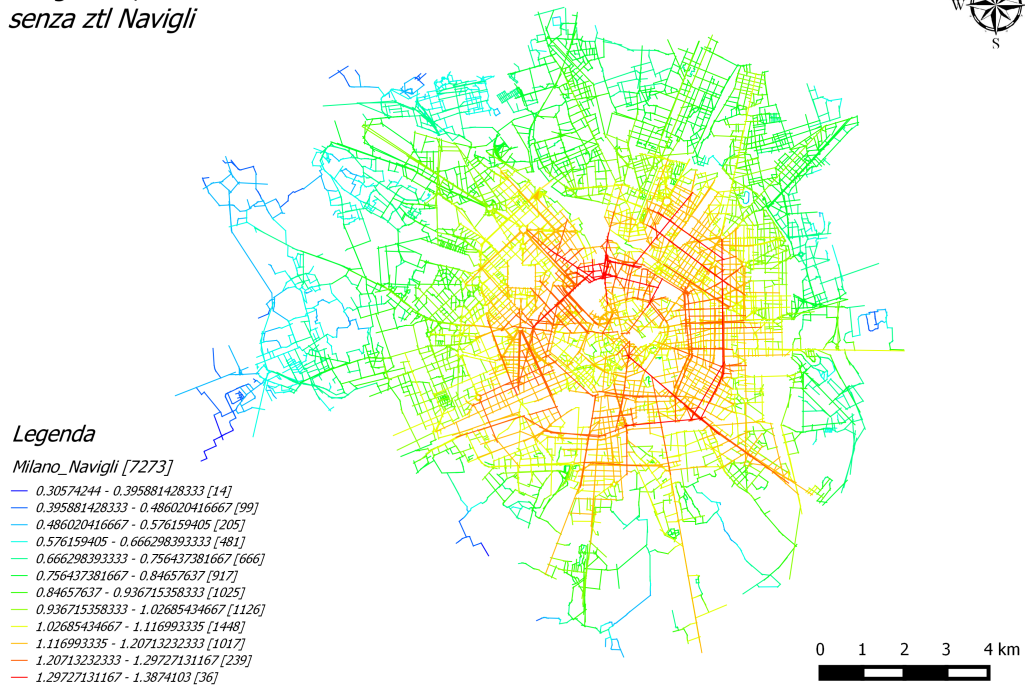


Figura 5.14: Distribuzione dell'indice di Integration sulla città di Milano priva della ztl dei Navigli.

*Choice, Milano
senza ztl Navigli*

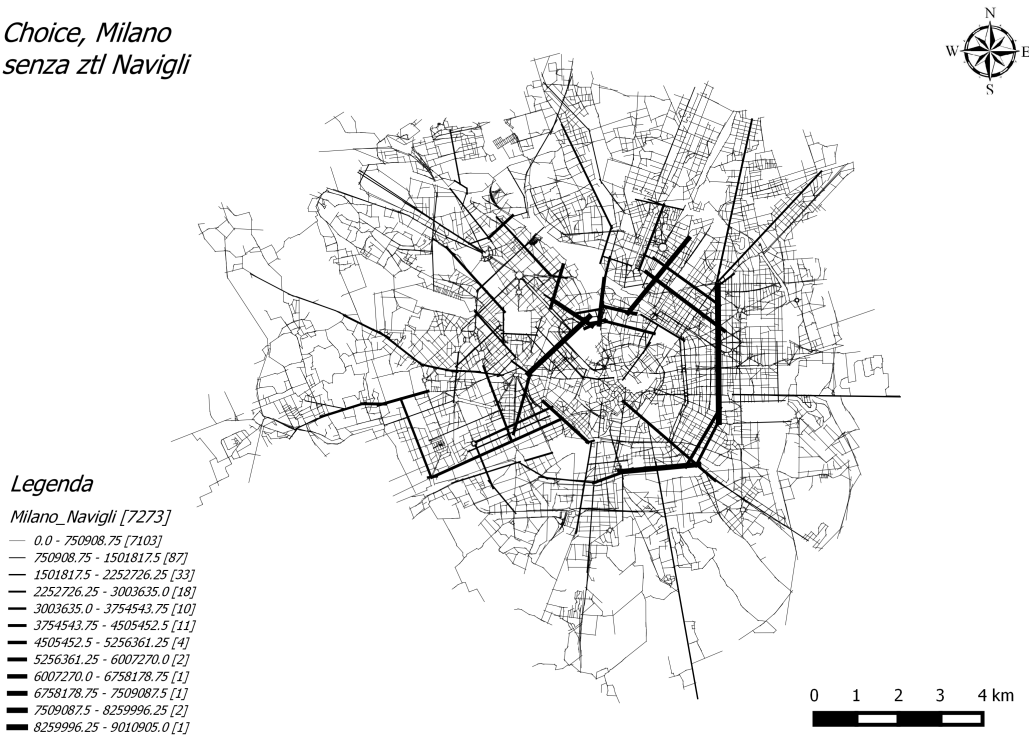


Figura 5.15: *Distribuzione dell'indice di Choice sulla città di Milano priva della ztl dei Navigli.*

E se invece fossero entrambe le Zone a Traffico Limitato, Area C e I Navigli, ad essere chiuse al traffico? In questo caso, *Scenario 3*, sarebbero confermate le vie maggiormente integrate dello *Scenario 1*, e si aggiungerebbero viale Coni Zugna e viale Gorizia, viale Toscana e viale Tibaldi nell'elenco delle vie di maggiore accessibilità (Figure 5.16 e 5.17).

*Integration, Milano
senza ztl Area C e Navigli*

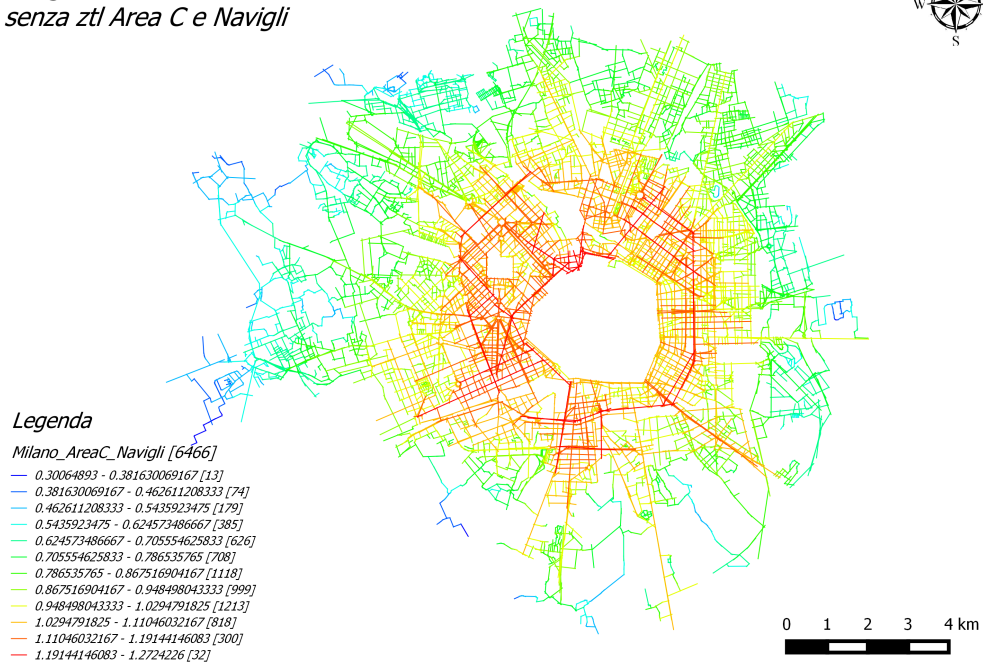


Figura 5.16: Distribuzione dell'indice di Integration sulla città di Milano priva delle ztl, Area C e I Navigli.

Choice, Milano
senza ztl Area C e Navigli

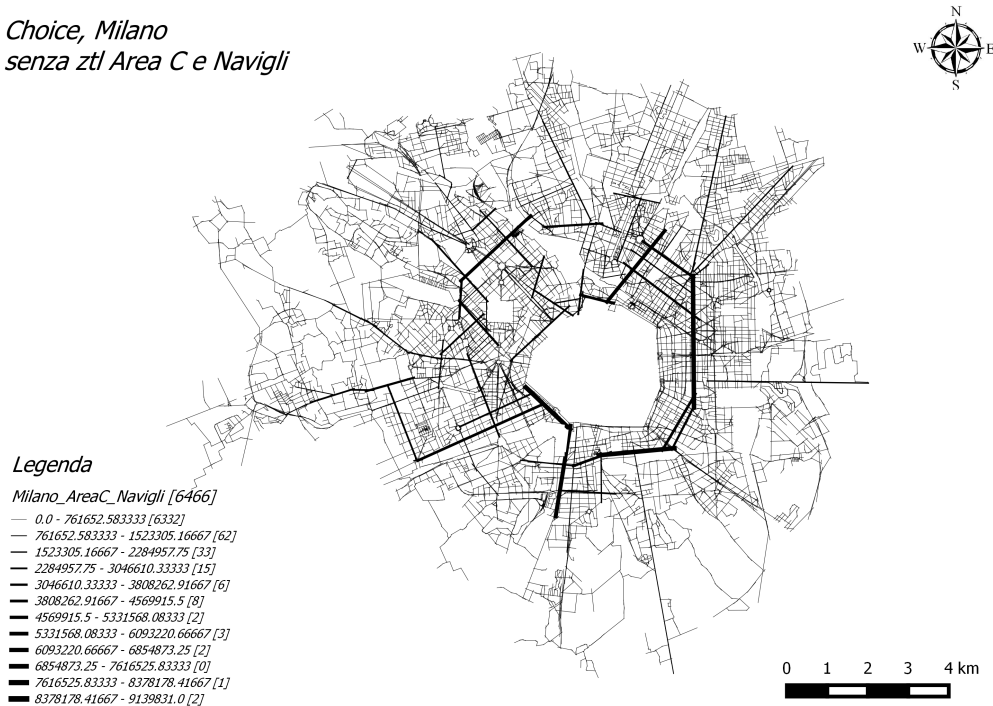


Figura 5.17: Distribuzione dell'indice di Choice sulla città di Milano priva delle ztl, Area C e I Navigli.

Avendo modificato la struttura della griglia urbana, ciò che è più interessante è la capacità di indagare sul cambiamento della resilienza della città e della sua facilità di comprensione in termini di struttura urbana nei diversi scenari ipotizzati precedentemente, per mezzo dell'analisi configurazionale. È interessante notare che i coefficienti di regressione della sinergia e dell'intelligibilità della città di Milano non variano di molto tra i diversi scenari: la corrispondenza tra l'indice di integrazione globale e l'indice di integrazione calcolato secondo un raggio topologico pari a 3 rimane tra i valori 0,57 e 0,59, assumendo il valore più alto nello *Scenario 1* in cui l'Area C è eliminata. Questo indica che la griglia urbana di Milano ha un'ottima capacità di reazione a determinati cambiamenti senza modificare in modo significativo i valori dei propri indici configurazionali. Anche la correlazione tra l'indice di integrazione globale e l'indice di

connettività rimane più o meno costante nei diversi scenari, confermando ancora una volta il basso livello di comprensibilità della città di Milano in termini configurazionali.

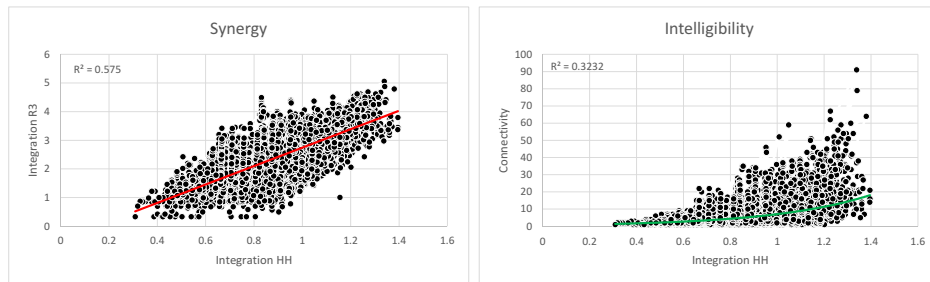


Figura 5.18: Correlazione lineare tra gli indici di integrazione globale e locale (a sinistra) e tra gli indici di integrazione globale e connettività (a destra) dello Scenario 0.

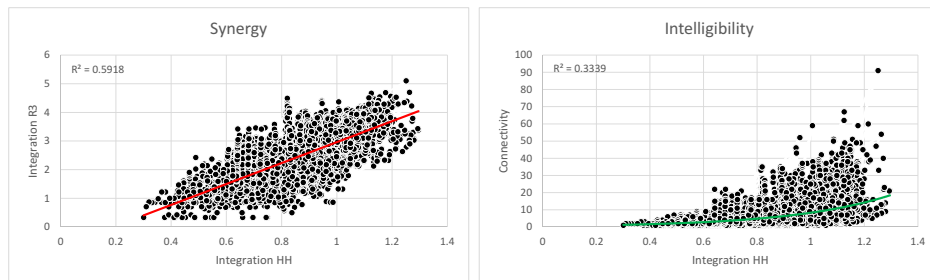


Figura 5.19: Correlazione lineare tra gli indici di integrazione globale e locale (a sinistra) e tra gli indici di integrazione globale e connettività (a destra) dello Scenario 1.

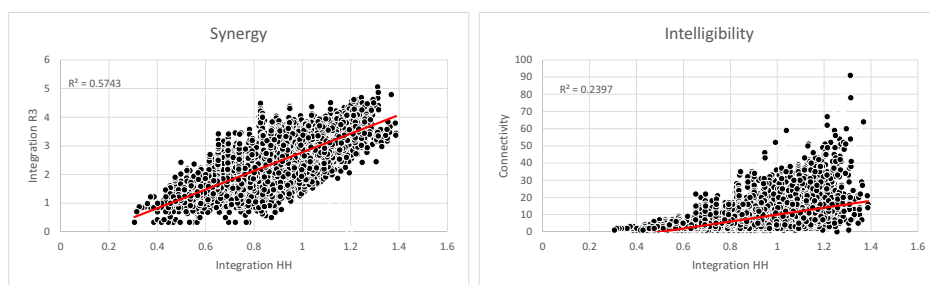


Figura 5.20: Correlazione lineare tra gli indici di integrazione globale e locale (a sinistra) e tra gli indici di integrazione globale e connettività (a destra) dello Scenario 2.

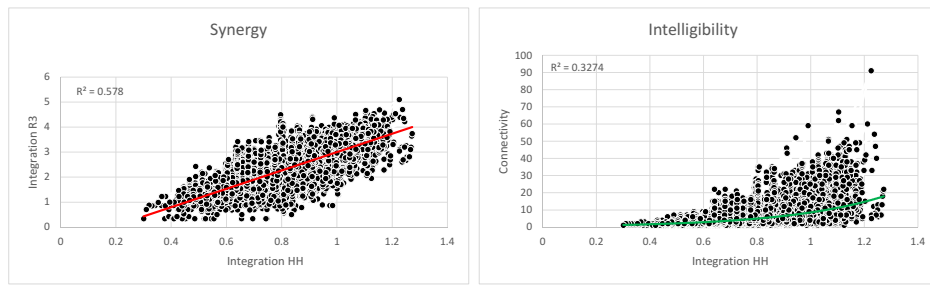


Figura 5.21: Correlazione lineare tra gli indici di integrazione globale e locale (a sinistra) e tra gli indici di integrazione globale e connettività (a destra) dello Scenario 3.

Inoltre, ipotizzando che il Comune di Milano debba necessariamente rendere un'altra area della città zona a traffico limitato, si potrebbero utilizzare le tecniche di *Space Syntax* nella perimetrazione della zona stessa al fine di prendere alcuni provvedimenti di gestione e monitoraggio del traffico in quelle zone che acquisterebbero maggiore importanza secondo l'analisi configurazionale, come qui mostrato.

5.3 L'analisi configurazionale per lo studio della resilienza

Da molti anni, si sta sperimentando l'utilizzazione delle tecniche di analisi configurazionale per la lettura dei connotati di resilienza dei sistemi insediativi con l'obiettivo di fornire una oggettiva valutazione delle loro capacità di sopportare traumi territoriali o sostenere trasformazioni del loro tessuto senza radicali alterazioni del loro assetto strutturale e funzionale. Gli esiti di queste ricerche sono mirati ad indirizzare le linee di intervento nelle trasformazioni del tessuto insediativo al fine di salvaguardarlo e proteggerlo e ad utilizzare concretamente i modelli quantitativi come strumenti di supporto per l'elaborazione di piani urbanistici.

5.3.1 Il concetto di resilienza

Il concetto di resilienza è oggetto di studio e di ricerca da molti anni ed è utilizzato in molte discipline con significati non sempre omogenei tra loro; è quindi necessario definire cosa si intende col termine resilienza in questo lavoro onde evitare malintesi.

Il termine resilienza indica innanzitutto una caratteristica fisica dei materiali, perché è la capacità di resistere a sollecitazioni impulsive, di reagire a urti improvvisi senza spezzarsi; è preso in prestito dall'informatica e dalla psicologia per indicare comportamenti che integrano bene la capacità di adattamento e la disponibilità alla trasformazione in risposta a eventi dirompenti o traumatici. Da una decina di anni il termine è entrato nel lessico comune anche degli urbanisti, che individuano proprio nella capacità di continuare a esistere, incorporando il cambiamento, uno dei principali indicatori per segnare la ripresa di una comunità, toccata da stravolgimenti significativi [Cianciotta, 2014]. La nozione di resilienza è suscettibile di diversi significati, nel corso degli ultimi anni il termine è stato applicato alle città in relazione alla loro resistenza ai grandi cambiamenti climatici cui vanno incontro; in questa direzione, una città resiliente, infatti, è un sistema urbano che non si limita ad adeguarsi ai cambiamenti in atto (ad esempio, il global warming), di fronte ai quali le città si stanno dimostrando sempre più vulnerabili, ma è una comunità che si modifica progettando risposte sociali, economiche e ambientali innovative che le permettano di resistere nel lungo periodo alle sollecitazioni dell'ambiente e della storia [Cianciotta, 2014]. Questa seconda concezione si basa sui concetti di persistenza, cambiamento, adattabilità e variabilità enfatizzando le condizioni lontane da ogni equilibrio. I sistemi resilienti, a fronte di uno stress, reagiscono rinnovandosi ma mantenendo la funzionalità dei sistemi stessi; la resilienza non implica quindi il ripristino ad uno stato iniziale, ma il ripristino delle funzionalità tramite la capacità di adattamento del sistema stesso [Colucci, 2012].

“A Resilient City is one that has developed capacities to help absorb future shocks and stresses to its social, economic, and technical systems and infrastructures so as to still be able to maintain essentially the same functions, structures, systems, and identity.”

Questa è la definizione proposta dalla rete di urbanisti, architetti, designer e ingegneri sulla piattaforma *ResilientCity*, la cui missione è di sviluppare una pianificazione supportata da strategie di progettazione che consentono di aumentare la capacità di resistenza delle varie comunità, nello specifico per affrontare shock associati al cambiamento climatico, al degrado ambientale e alla carenza di risorse naturali.

In questo caso, la resilienza è quella definita dalla teoria configurazionale ed è quindi strettamente legata al significato topologico dell'oggetto di studio: la resilienza urbana

descrive la capacità di un sistema nel sostenere perturbazioni di diversa natura senza subire grandi modifiche nella sua struttura e con limitate alterazioni al suo comportamento. La consapevolezza dell'importanza della resilienza urbana è andata consolidandosi sempre più nel corso degli anni, tenendo conto dell'aumento del numero di rapidi cambiamenti dei sistemi insediativi. Tra queste brusche trasformazioni rientrano sia quelle dovute alla dinamicità delle condizioni sociali ed economiche di una struttura urbana e sia le trasformazioni indotte dalla variabilità di grandezze naturali, come i terremoti, che portano una improvvisa alterazione della struttura fisica. Ogni trasformazione della griglia urbana, ogni intervento sui suoi percorsi o sui fabbricati e gli isolati che li definiscono, comporta effetti sui fenomeni insediativi e sulla geografia complessiva dell'insediamento, effetti che l'approccio configurazionale è in grado di portare alla luce [Cutini, 2014b].

In questo lavoro si è analizzata la resilienza della città di Milano, descritta nel capitolo precedente attraverso lo studio della correlazione tra gli indici di integrazione globale e locale (*Synergy*), il valore del *Coefficient V* e quello di *Mean Connectivity*. Prendendo in considerazione il primo parametro, si è concluso che la città di Milano risulta essere relativamente resiliente in quanto presenta un valore di sinergia pari a 0,596, che si considera alto, tenendo conto dell'elevato numero di *lines* che costituiscono la griglia urbana. In questo capitolo si vuole osservare quanto davvero è resiliente la città di Milano e quali sono i quartieri maggiormente segregati secondo i risultati dell'analisi configurazionale al fine di utilizzare queste considerazioni per future strategie di pianificazione della città.

5.3.2 La resilienza di Milano

Nel presente studio il concetto di resilienza è strettamente correlato agli aspetti relazionali della griglia urbana, come anticipato sopra. Dimostrata nel capitolo precedente la correlazione che sussiste tra gli usi del suolo (in particolare, la densità delle attività) e la configurazione del sistema urbano, si dà per certo che ogni trasformazione di quest'ultima può modificare le precondizioni per la localizzazione e l'efficiente funzione della attività dell'intera geografia insediativa [Cutini, 2014b].

Nel caso in questione, si vuole far vedere come la città di Milano sia in grado di resistere a certi cambiamenti nella sua struttura interna senza avere delle grosse modifiche delle

proprietà configurazionali.

Come si è osservato nei capitoli precedenti, l'asse costituito da Corso di Porta Romana e da Corso Lodi, che collega Piazza Missori, nel centro della città, al Piazzale Lodi, nella parte sud est del sistema, rappresenta un elemento di fondamentale importanza nella griglia urbana della città in termini di analisi configurazionale. Esso, infatti, ha rappresentato uno degli assi radiali della struttura geometrica desiderata dall'ingegner Beruto e rappresenta una delle strade più frequentate e accessibili anche nella struttura odierna, in quanto presenta alti valori dell'indice configurazionale di integrazione. Si supponga ora, ad esempio, che vengano effettuati dei lavori di ristrutturazione e che venga chiuso l'accesso ad essa da Piazza Missori fino a Piazzale Lodi. L'elemento, in termini configurazionali, che permette di quantificare la variazione nel movimento dell'utente è la distribuzione dell'indice di integrazione. Dato il valore relativamente alto del coefficiente di correlazione tra gli indici di integrazione calcolati a livello globale e locale, ci si aspetta che la chiusura di un tratto urbano non comporti dei grandi cambiamenti; nonostante ciò si deve tener conto della dimensione del sistema che si sta considerando e soprattutto dell'importanza del tratto urbano eliminato, sia in termini di studio configurazionale sia per la lunghezza del tratto stesso (2200 metri).

Il risultato ottenuto è sorprendente: la distribuzione dell'indice di integrazione non ha subito grossi cambiamenti e in particolare si possono individuare le stesse centralità urbane che sono emerse nell'*Axial Map* della città prima della rimozione dell'asse in questione, eccetto la centralità di Porta Romana che in questo caso è ovviamente diminuita (Figura 5.22).

*Global Integration, Milano senza
l'asse di Porta Romana*

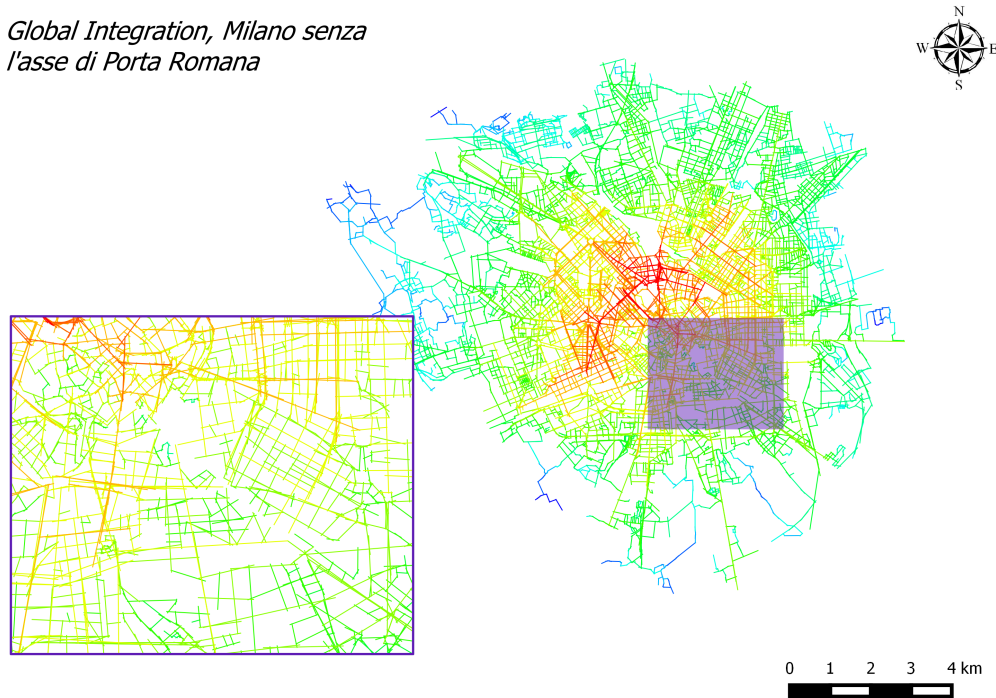


Figura 5.22: Axial Map della città di Milano in cui l'asse di Porta Romana e parte di Corso Lodi è rimosso con uno zoom sulla zona interessata.

5.3.3 Un quartiere integrato più localmente che globalmente: l'esempio di Bovisa

Attraverso lo studio della resilienza della città di Milano tramite la teoria configurazionale di *Space Syntax*, si possono individuare quelle zone della città che risultano essere poco integrate all'interno dell'intera struttura urbana e quindi segregate rispetto alla restante parte della struttura stessa.

Partendo dallo *scatter plot* che raffigura la correlazione lineare tra le serie di valori dell'indice di integrazione calcolato a livello globale, quindi sull'intera estensione della griglia, e a livello locale, considerando un raggio topologico pari a 3 (Figura 5.8), si sono selezionati quei punti caratterizzati da un alto valore di integrazione locale e un

valore più piccolo di integrazione globale, posizionati quindi al di sopra della retta di regressione e che si discostano maggiormente dalla massa costituita dagli altri punti, come evidenziato in Figura 5.23. Dalla *Axial Map* si sono individuate le zone a cui appartengono quei punti: una zona del quartiere di Bovisa, esattamente il Campus universitario del Politecnico di Milano, e il Cimitero Maggiore e l'intero viale Certosa. È molto interessante notare come il Campus universitario venga rappresentato dall'analisi configurazionale come una zona ben integrata se si considera il sistema costituito dalle *lines* entro il raggio topologico pari a 3, mentre risulta essere meno integrato e connesso all'intera parte restante del sistema.

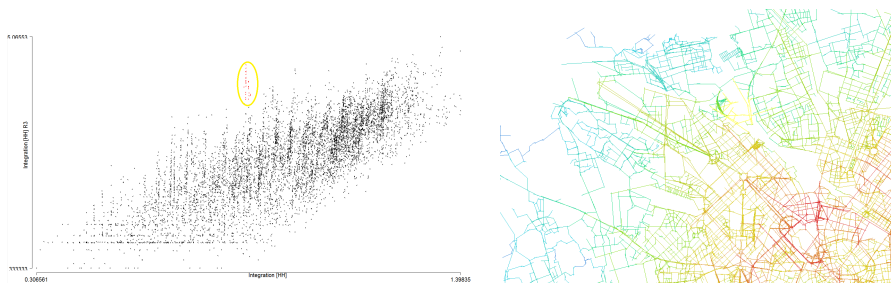


Figura 5.23: Selezione dei punti ben integrati localmente e meno globalmente, nello scatter plot in rosso (a sinistra) e le corrispondenti vie sulla mappa in giallo (a destra) .

La Bovisa è un quartiere di Milano situato nella parte settentrionale della città ed è delimitato dai binari della ferrovia di gronda nord. Costituisce parte della periferia nord di Milano e, come i quartieri ad esso adiacenti, si è formato per trasformazione di vecchi nuclei contadini e da una fase di intensa caratterizzazione industriale è passato a quella residenziale e generalizzata ([Touring Club It., 1998]). Bovisa era il nome di un'antica cascina nei pressi di Affori, assieme alle cascine di Dergano e Derganino che si espandevano al di fuori delle mura cittadine di Milano lungo una di quelle rogge per l'irrigazione dei campi. Quest'ultima fu poi interrata e divenne una strada; si definirono così tre nuclei agricoli ben distinti: Bovisa, Villapizzone, Dergano e Derganino. Intorno al 1880 la città di Milano si apre ai commerci con il mercato dell'Europa Centrale, e in questa prospettiva il trasporto su binari assume un'importanza decisiva: lungo il tracciato ferroviario cominciano a sorgere fabbriche chimiche e metalmeccaniche in funzione della facilità di trasporto su rotaia della materia prima, della materia finita e della forza

lavoro. Per poco meno di un secolo la zona è stata quindi uno dei più importanti poli produttivi dell'industria chimica italiana. Dagli inizi del Novecento si instaurano anche molte imprese di logistica, di autotrasporto e in particolare di produzione del Gas; la Bovisa si trasforma quindi da borgo rurale a quartiere periferico industriale e operaio. Di fianco allo sviluppo non pianificato della zona, si affianca l'intento del Piano Beruto del 1884 di riorganizzare la periferia milanese in funzione del centro storico attraverso un sistema geometrico di tracciati radiali convergenti nel centro della città, come ampiamente analizzato nei due capitoli precedenti. Questo intento permane anche nei piani successivi Pavia-Masera del 1912 e Albertini del 1934 [Erba, 2000].

Fino al 1960 l'area rappresenta un importante nodo urbano nella zona settentrionale della città milanese ma la crisi dell'industria, nata alla fine degli anni '70, segna inevitabilmente la decadenza del quartiere causando la dismissione di molte fabbriche ([Touring Club It., 2003]).

Solo negli anni Novanta si avvia una fase di rilancio in quanto nel 1987 l'Amministrazione comunale ufficializza il piano di recupero della zona attraverso l'ampliamento delle strutture universitarie del Politecnico di Milano che si ritrova in una posizione strategica grazie al potenziamento delle infrastrutture ferroviarie e alla costruzione del Passante. Per questo motivo la zona viene chiamata «Goccia» e diviene un quartiere terziario e in via di sviluppo.

In termini di localizzazione secondo l'analisi configurazionale, il quartiere Bovisa rappresenta un'area molto appetibile in quanto è posta sull'asse nord-ovest e a ridosso della ferrovia e delle autostrade; infatti sull'*Axial Map* è costituita da *lines* che hanno un alto valore dell'indice di integrazione locale poichè ben integrata con gli assi adiacenti ma il valore dell'indice di integrazione globale risulta relativamente più basso, interpretando il quartiere come una zona piuttosto autonoma e a se stante ma comunque bene raggiungibile.

A questo proposito si citano i motivi che Giorgio Fiorese elenca nel suo libro «Per un Hub della conoscenza: con arte e scienza declinate nel fare» della scelta di localizzare il Campus del Politecnico di Milano esattamente nella «Goccia» di Bovisa:

- Centralità regionale e grande accessibilità, poichè p di gran lunga il luogo lombardo più accessibile con mezzi pubblici per la concentrazione di stazioni ferroviarie. È la parte di Milano più prossima a Malpensa, grazie alla ferrovia.

- Attività presenti: Cinque insediamenti del Politecnico, con tre facoltà (Ingegneria industriale, Architettura Civile, del Design); Triennale Bovisa, Istituto Farmacologico Mario Negri.
- Nell'intorno: il Nuovo Polo Fiera Milano e (forse) Expo 2015, nonché numerose sedi di istituti di ricerca e imprese innovative.
- I programmi del Comune, che più volte ha proclamato: Bovisa diventi uno snodo europeo di innovazione e ricerca, che traini lo sviluppo italiano.
- I fabbricati disponibili nell'Area dei Gasometri, destinabili alla prima fase sperimentale (in particolare quelli vincolati come beni storici).
- Infine, l'aura di tradizione produttiva, culturale e figurativa del luogo. Oltre all'attivo «fare» nell'industria e nella ricerca (dal pioniere Luigi Candiani al Politecnico e al Mario Negri), va ricordato che nell'ultimo mezzo secolo hanno lavorato su Bovisa decine di architetti, cineasti, fotografi, pittori, poeti, scrittori, teatranti. [Fiorese, 2008]

Si può quindi desumere che il quartiere Bovisa è uno dei pochi quartieri della periferia milanese che ha conservato il suo carattere e la sua identità nel tempo; ora rappresenta un polo universitario molto importante e può quindi essere considerato come un quartiere a se stante; queste caratteristiche trovano riscontro nei risultati delle analisi tramite l'approccio configurazionale: nell'*Axial Map* rappresenta la zona che impatta sul livello di resilienza del sistema in modo negativo abbassando, seppur di poco, la capacità della città di Milano di reagire a determinati cambiamenti senza che ci siano modifiche significative all'interno della propria struttura geografica.

5.3.4 Un quartiere integrato più globalmente che localmente: l'esempio delle 5 vie

Osservando lo *scatter plot* di sinergia del sistema urbano della città di Milano, si sono evidenziati quei punti che hanno un valore alto di integrazione locale e relativamente basso di integrazione globale e si è constatato che questi punti rappresentano le strade di una parte del quartiere Bovisa.

Si è voluto analizzare il sistema tramite l'approccio inverso: partendo dall'*Axial Map* della città di Milano, si sono individuate quelle zone caratterizzate da un valore di integrazione locale relativamente basso e un valore di integrazione globale alto, quelle zone, quindi, che sull'*Axial Map* relativa all'indice di *Integration HH* (globale) spiccano di color rosso e arancio mentre nell'*Axial Map* che raffigura la distribuzione dell'indice di *Integration R3* (locale con raggio topologico pari a 3) si colorano dei toni del blu e del verde. Questi luoghi sono ben connessi all'interno dell'intera struttura di Milano ma secondo l'analisi configurazionale non presentano dei forti fattori di attrazione locale.

Paragonando le due *Axial Map* sopra citate, ci si accorge che il centro di Milano subisce questo tipo di cambiamento passando dall'analisi di integrazione globale a quella locale; in particolare ne risente la zona ad ovest del centro costituita da alcune strade appartenenti al quartiere *5 vie*. Questa zona presenta diversi valori dell'indice calcolato in termini globale e locale, come mostrato in Figura 5.24, posizionandosi al di sotto della linea bisettrice del grafico di sinergia.



Figura 5.24: Zoom sul centro di Milano caratterizzato dai valori di integrazione globale (a sinistra) e locale (a destra).

La zona individuata si trova tra Piazza Affari e Via Torino, escluse. In questo luogo ha sede l'università Statale di Milano che attira un ingente flusso di persone costituito per la maggior parte da studenti ma l'università fa parte di quelle attività monopolistiche che non seguono strettamente la teoria configurazionale. Qualora non ci fosse la sede universitaria infatti, questa zona sarebbe meno frequentata secondo l'analisi configurazionale ma comunque ben connessa alle parti restanti della città. Effettivamente,

supponendo di chiudere la sede universitaria, non vi sono altre fonti di forte attrazione per i cittadini; è comunque da tener conto che questa zona si trova esattamente al centro della città, quindi attività culturali o eventi son certamente presenti (soprattutto di design e arte) ma va comunque sottolineato che presenta meno fattori di richiamo in confronto ad altre parti della città, anche ad essa adiacente, come la zona delle Colonne di San Lorenzo oppure il quartiere San Vittore o il Centro Storico stesso, zone che presentano valori di integrazione relativamente alti anche nella mappa calcolata in termini di integrazione locale.

Attraverso questi due esempi applicativi si è voluto mostrare come l'interpretazione dei risultati delle analisi tramite *Space Syntax* possa essere un ottimo strumento nella lettura dei quartieri di un sistema urbano e in grado di suggerire delle linee guida per eventuali provvedimenti pianificatori.

Conclusioni

I risultati ottenuti nel lavoro di tesi svolto possono essere descritti a seconda della suddivisione dello studio in tre differenti parti in termini di analisi e di applicazioni. Nella prima parte si ripercorre la storia della genesi insediativa della città di Milano dai Romani ai giorni d'oggi e si studia il fenomeno attraverso l'analisi configurazionale, in particolare considerando la rappresentazione della città in corrispondenza di eventi chiave che ne hanno modificato l'assetto strutturale. I risultati emersi dall'analisi diacronica della configurazione spaziale del caso di studio sembrano confermare le ipotesi e gli obiettivi fissati negli strumenti di pianificazione nelle date corrispondenti. Il centro storico, fulcro delle principali attività commerciali e sociali, del Settecento, lo sviluppo radiale descritto nel Piano Beruto di fine Ottocento, il passaggio dal concetto di *zoning* a *mix funzionale* del Piano di Governo del Territorio del 2010 trovano conferma nei dati quantitativi delle elaborazioni tramite *Space Syntax*.

La seconda parte della tesi ha messo in luce il comportamento della griglia urbana di Milano in termini configurazionali; in questa fase non si è solo indagato sul valore degli indici configurazionali, la loro distribuzione e le loro correlazioni sulla città, ma si è anche studiata una possibile corrispondenza tra i risultati forniti dall'analisi configurazionale e ciò che effettivamente accade nella realtà. Tale sperimentazione, infatti, ha dimostrato l'esistenza di uno stretto rapporto di correlazione fra la configurazione della griglia, rappresentata dall'andamento dell'indice di integrazione, e l'andamento della centralità urbana, in veste della densità delle attività economiche effettivamente presenti al suo interno. Questo tipo di corrispondenza è risultata più forte di quanto ci si aspettava, soprattutto considerando la notevole dimensione del sistema in analisi, e di forma esponenziale, sia considerando l'intero sistema che suddividendolo in sub-sistemi. La forma esponenziale della correlazione sembra indicare che le attività siano attratte dalle

posizioni favorevoli in termini di accessibilità (in veste dell'indice di integrazione) e a loro volta, attraggono altre attività.

Lo studio dell'evoluzione dell'assetto urbano della città di Milano attraverso *Space Syntax* ha permesso di osservare il cambiamento di alcune caratteristiche intrinseche della città, come la resilienza e la comprensibilità del layout urbano, e inoltre di analizzare la trasformazione del significato di centralità urbana, sia nei piani regolatori della città e sia sulla realtà di Milano. La tecnica configurazionale si è dimostrata un ottimo mezzo nel descrivere la città di Milano, la sua evoluzione nel tempo e la sua realtà di oggi. La composizione urbana della città di Milano è stata sempre analizzata dagli studiosi con un approccio di tipo euclideo, l'analisi configurazionale ha permesso lo studio di alcune caratteristiche che rimanevano in secondo luogo in tali studi e di altre analizzate però da un punto di vista differente.

L'analisi configurazionale è stata applicata alla città di Milano non solo per studiarne gli aspetti più importanti, ma anche per affrontare certe problematiche della città e formulare delle ipotesi di pianificazione urbana. La parte più stimolante, la terza appunto, è stata quella relativa all'analisi di alcune delle problematiche della città di cui si sono proposti diversi scenari, in particolar modo legati al tema dell'accessibilità, pedonale, ciclabile e veicolare. In questa fase *Space Syntax* è risultato un possibile utile mezzo di supporto alla pianificazione in quanto ha messo a disposizione la possibilità di effettuare delle analisi di differenti tipi di accessibilità, attraverso il raggio di computazione e i valori degli indici configurazionali, primo fra tutti l'indice di *Integration*. Dopo aver analizzato a fondo la chiave di lettura tra il concetto di accessibilità e il significato dell'indice configurazionale di integrazione, si sono generate specifiche mappe di visualizzazione delle strade più segregate e quelle più accessibili, si sono individuate quelle zone che son risultate ottimali secondo l'approccio configurazionale per la localizzazione di alcuni servizi, come i parcheggi, o portabici e le biblioteche. Uno scenario ha poi affrontato il problema della perimetrazione delle zone a traffico limitato e ha mostrato come *Space Syntax* potrebbe assumere un ruolo importante nell'indirizzamento di provvedimenti di questo tipo in quanto strettamente legato alla variazione della struttura urbana. Inoltre si è discusso il tema della resilienza e dimostrato come la città di Milano presenta un'ottima capacità di resistenza a certi cambiamenti senza subire significative modifiche nel proprio assetto configurazionale.

Oltre all'ottima risposta ottenuta dall'analisi configurazionale sulla città di Milano,

bisogna sottolineare che nonostante *Space Syntax* si basi su un modello statistico, è in grado di offrire una visualizzazione dei dati su mappa di facile interpretazione e di impatto diretto; questo favorisce una pianificazione partecipata a cui possono aderire diversi *stakeholder*. In questo modo, *Space Syntax* potrebbe indossare le vesti di un utile mezzo di pianificazione in grado di essere compreso, non solo da professionisti e ricercatori, ma anche dai cittadini, promuovendo quindi un tipo di approccio integrato ai processi decisionali.

In conclusione, è doveroso ribadire come la proposta degli strumenti e delle applicazioni descritte in questo studio non ha lo scopo di sostituire completamente le tecniche della pianificazione classica ma, come ribadito più volte, di affiancarle e in particolare di integrarle.

In ultima analisi, è possibile definire quali potrebbero essere i possibili sviluppi futuri del lavoro svolto.

Il tipo di studio affrontato nell'analisi della genesi insediativa della città di Milano attraverso *Space Syntax* potrebbe essere migliorato aggiungendo specifiche date corrispondenti a significativi provvedimenti e cambiamenti nella storia della pianificazione della città; inoltre lo stesso metodo potrebbe essere implementato in altre città di cui si desidera analizzare l'evoluzione del tessuto urbano nel tempo attraverso uno strumento operativo come appunto l'analisi configurazionale.

In secondo luogo la verifica della corrispondenza tra i risultati dell'analisi configurazionale e quelli reali potrebbe essere affrontata analizzando non solo la corrispondenza tra il valore dell'indice di *Integration* e la densità delle attività locali, ma anche la corrispondenza tra il primo termine e altri fattori che potrebbero rappresentare la distribuzione del flusso di utenti, per esempio il numero di *status* pubblicati sui social network oppure la distribuzione del traffico veicolare.

Un altro possibile sviluppo futuro potrebbe consistere nella definizione di specifici indici da una aggregazione di indicatori configurazionali tramite l'implementazione di *Space Syntax* in un sistema informativo geografico GIS, come svolto per la localizzazione dei sistemi bibliotecari. In questo modo, inoltre, la localizzazione dei servizi potrebbe essere migliorata tramite l'aggiunta di informazioni geografiche su specifici servizi della città in analisi.

Appendice

Nelle appendici qui di seguito si forniscono esempi chiarificatori sugli indicatori di secondo ordine attraverso l'applicazione dell'analisi configurazionale su diversi pattern urbani e informazioni maggiormente dettagliate sui software di cui si è fatto uso in questo lavoro di tesi; di questi ultimi, l'obiettivo non è quello di descriverli in tutte le loro funzionalità ma di fornire una spiegazione degli strumenti principalmente utilizzati in questo lavoro.

Applicazione di Space Syntax all'analisi di layout urbani di riferimento

Si riportano in maniera riassuntiva i risultati ottenuti dall'applicazione dell'approccio configurazionale all'analisi di alcuni layout considerati di riferimento al fine di fornire esempi semplificativi che aiutano alla comprensione del significato degli indicatori di secondo ordine, spiegati a livello teorico e concettuale nel primo capitolo.

Nella letteratura una gran parte di studi si focalizza sulla ricerca di una possibile catalogazione dei modelli di città, individuando alcuni riferimenti chiave per ciascuno, nonostante nella realtà sia difficile trovare città che fanno riferimento ad unico modello preciso. La struttura urbana può essere vista come un quadro di percorsi e spazi pubblici che definiscono il carattere di una città secondo l'approccio configurazionale; esistono diversi tipi di forme urbane a cui corrispondono diversi valori degli indici configurazionali. Per chiarire questo concetto si riporta lo studio affrontato su tre città caratterizzate da un pattern molto differente tra loro: la città di Philadelphia, di Ex

En Provence e di Bologna. Al fine di paragonare i tre layout urbani si è considerata un'area di un miglio quadrato di ciascuno.

Philadelphia, città degli Stati Uniti d'America, è caratterizzata da un pattern urbano molto regolare, costituito di isolati simili tra loro, di forma rettangolare e quadrata, e da lunghi assi visuali che si intersecano ortogonalmente come si può osservare dalle immagini sottostanti. Rifacendosi agli studi del processo evolutivo delle città, Philadelphia potrebbe essere catalogata come pattern urbano a maglia regolare.

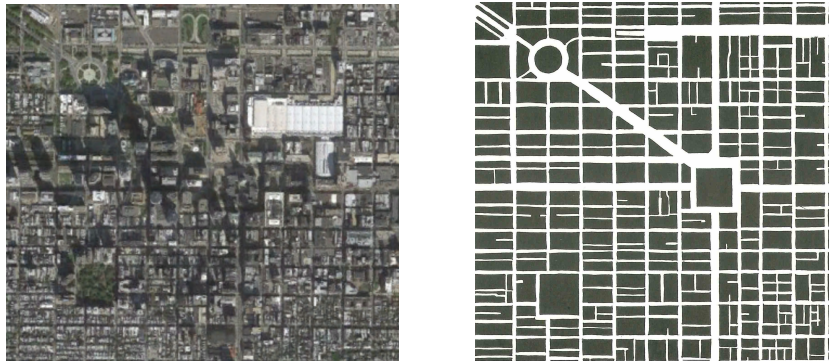


Figura A.1: Rappresentazione della griglia urbana di Philadelphia da satellite (a sinistra) e mappa dei percorsi (a destra).

Secondo la distribuzione dell'indice di integrazione globale (Figura A.2) le strade maggiormente accessibili in termini configurazionali si trovano in prossimità della City Hall (al centro dell'area considerata) e dell'Academy of Natural Sciences (in prossimità della piazza a nord-ovest). La struttura a griglia regolare ha la caratteristica di essere efficiente nel collegare i diversi nuclei di una rete in quanto offre diverse alternative di percorsi; questo consente di raggiungere una determinata destinazione scegliendo tra una varietà di tragitti. Con questa premessa, ci si aspetta un alto valore di corrispondenza tra l'indice configurazionale di integrazione globale e locale, poichè se si verifica una modifica nel layout urbano, vi sono diverse alternative che la rimpiazzano. Il valore del coefficiente di *synergy* risulta essere molto alto, pari a 0,92; l'assetto regolare permette quindi alla griglia urbana di Philadelphia di avere una capacità elevata di reagire a certi cambiamenti senza subire significative modifiche di tipo configurazionale. A confermare

l'alta capacità di resilienza del pattern urbano di Philadelphia è il valore del *Coefficient V* pari a 0,21.

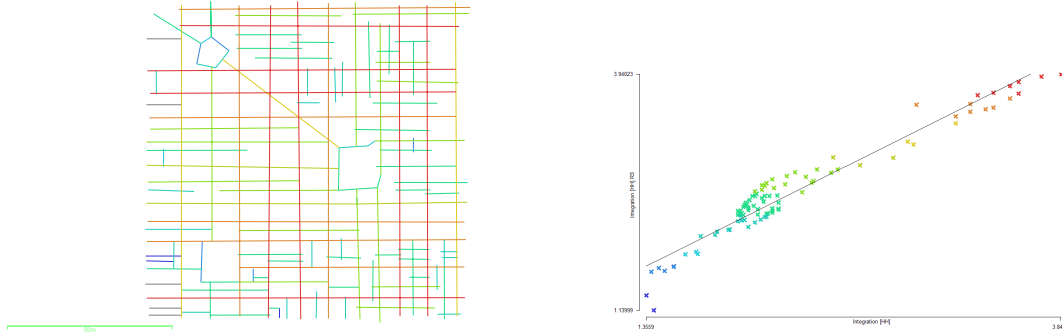


Figura A.2: Rappresentazione dell'indice di integrazione globale sulla griglia urbana di Philadelphia (a sinistra) e grafico della sinergia del suo pattern urbano, $R^2 = 0,92$ (a destra).

In una struttura a maglia regolare la singola parte si ripete in modo uguale o circa nell'intero sistema risultando di facile comprensione da parte dell'utente; nel caso di Philadelphia si prevede quindi un alto valore della corrispondenza tra il valore dell'indice configurazionale di integrazione globale e di quello di connettività (*intelligibility*), come viene confermato dall'analisi di cui si riporta il grafico nella figura sottostante. Inoltre, se la struttura è semplice e di facile comprensione la correlazione tra gli indici di integrazione globale e scelta globale (*movement interface*) è elevata, questo viene confermato nel caso di Philadelphia in cui il coefficiente di correlazione è pari a 0,69.

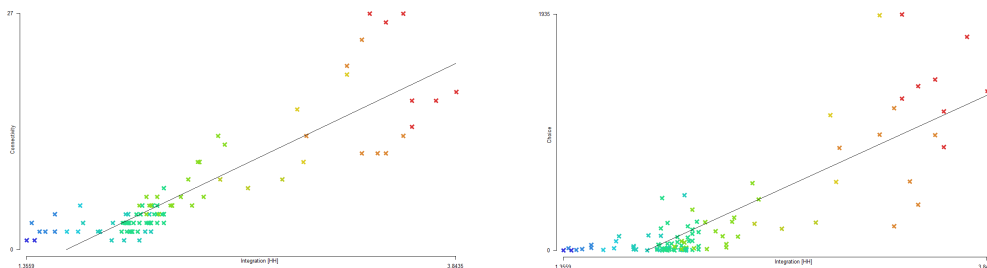


Figura A.3: Grafico dell'intelligibilità del pattern urbano di Philadelphia, $R^2 = 0,80$ (a sinistra) e di movement interface, $R^2 = 0,69$ (a destra).

In passato, la costruzione della città secondo questo tipo di configurazione era dettata da una scelta di tipo difensivo: la presenza di diverse vie alternative consente di raggiungere diverse zone urbane indipendentemente dall'assalto dei nemici in altre zone permettendo quindi di non perdere il controllo dell'intera città.

Diversa è la situazione della città di Ex En Provence nel sud della Francia; essa si trova lungo l'antica via consolare, Via Aurelia, ed è una città di stampo romano: si riconoscono le antiche mura difensive, il Cardo e il Decumano, il Foro e l'anfiteatro. A differenza di Philadelphia, l'area della città francese considerata non presenta un layout esattamente regolare e ortogonale (Figura A.4).



Figura A.4: Rappresentazione della griglia urbana di Ex En Provence da satellite (a sinistra) e mappa dei percorsi (a destra).

Dalla distribuzione dell'indice di integrazione globale riportata in Figura A.5, si osserva che le strade maggiormente integrate secondo l'approccio configurazionale corrispondono agli assi principali del centro della città: Cours Sint Louis e Cours Mirabeau. Il valore di sinergia in questo caso risulta essere pari a 0,76 che indica una buona capacità di mantenere il proprio assetto urbano in caso di modifiche strutturali da parte della città. Per confermare questa intuizione, si sono eliminate due strade che presentano un alto valore di integrazione calcolato a livello globale e si è osservato che il valore del coefficiente dell'indicatore *synergy* è diminuito soltanto di 0,02. Un'ennesima conferma viene fornita dal valore del *Coefficient V* pari a 0,35.

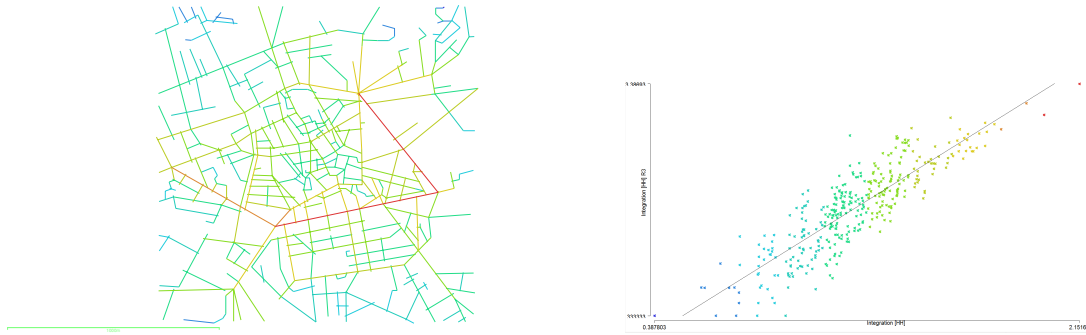


Figura A.5: Rappresentazione dell'indice di integrazione globale sulla griglia urbana di Ex En Provence (a sinistra) e grafico della sinergia del suo pattern urbano, $R^2 = 0,76$ (a destra).

La comprensibilità della maglia urbana di Ex En Provence si traduce in termini configurazionali nel valore del coefficiente di correlazione tra gli indici di integrazione e connettività (*intelligibility*) e in quello tra l'indice di integrazione e scelta (*movement interface*); il primo è pari a 0,41 mentre il secondo 0,40 (Figura A.6).

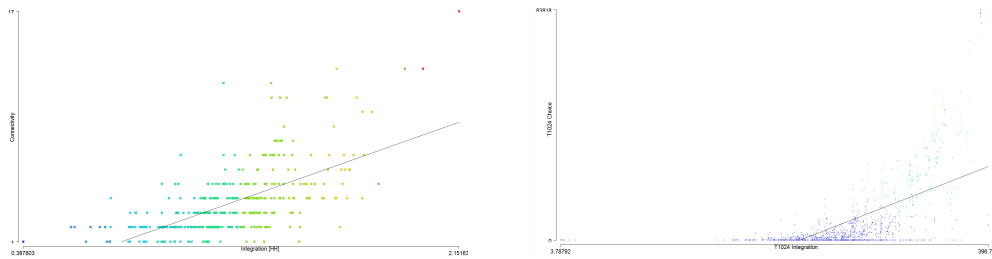


Figura A.6: Grafico dell'intelligibilità del pattern urbano di Ex En Provence, $R^2 = 0,41$ (a sinistra) e di movement interface, $R^2 = 0,40$ (a destra).

Dall'analisi configurazionale di una griglia urbana che non può essere definita completamente regolare né irregolare, i valori degli indici configurazionali di secondo ordine assumono valori nell'intorno di 0,5 e non si posizionano agli estremi del range di valori possibili.

Se la città di Ex En Provence potrebbe rappresentare quindi un caso intermedio, il layout urbano di Bologna può essere considerato come il caso opposto a quello di Philadelphia.

Bologna, città universitaria e caratterizzata da torri e lunghi portici antichi nel vasto centro storico, presenta una struttura urbana che richiama un modello ramificato ed è caratterizzato da molte strade chiuse.



Figura A.7: Rappresentazione della griglia urbana di Bologna da satellite (a sinistra) e mappa dei percorsi (a destra)

La distribuzione dell'indice di integrazione globale indica la via pedonale, Via Ugo Bassi, quella maggiormente accessibile come si può osservare dalla figura sottostante. Il tipo di layout della città di Bologna non risulta essere molto flessibile in quanto, se necessario, non è possibile seguire dei percorsi alternativi per raggiungere la destinazione prefissata; si prevede quindi che il valore dell'indice configurazionale di secondo ordine della sinergia sia piuttosto basso (risulta essere infatti 0,35) ed il valore del *Coefficient V* alto, difatti pari a 0,91 per la città di Bologna.

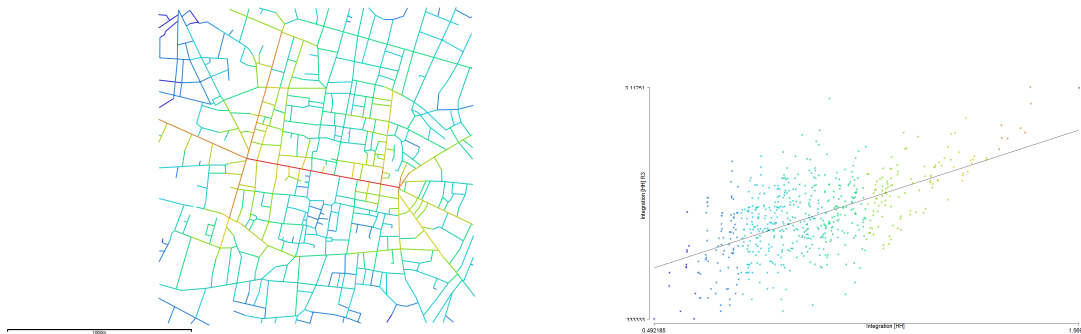


Figura A.8: Rappresentazione dell'indice di integrazione globale sulla griglia urbana di Bologna (a sinistra) e grafico della sinergia del suo pattern urbano, $R^2 = 0,35$ (a destra).

Con le considerazioni fatte precedentemente, si suppone che la città di Bologna sia poco comprensibile agli occhi dell'utente: i coefficienti di correlazione di *intelligibility* e *movement interface* sono rispettivamente 0,11 e 0,25 a conferma di quanto previsto. In passato, la scelta di progettare la città secondo uno schema meno flessibile e non regolare era dettato dalla scelta strategica difensiva di disorientare il nemico nella situazione di assalto della città; questo è il caso di Bologna.

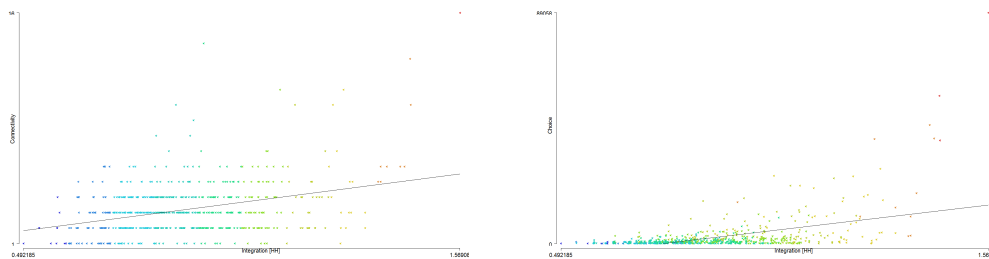


Figura A.9: Grafico dell'intelligibilità del pattern urbano di Bologna, $R^2 = 0,11$ (a sinistra) e di *movement interface*, $R^2 = 0,25$ (a destra).

Da questo studio, si osserva che in una griglia urbana regolare e ortogonale gli indici configurazionali di secondo ordine assumono valori ideali per una città, la resilienza e la comprensibilità sono due caratteristiche con un alto grado di valore; in una città meno regolare e meno flessibile accade invece il contrario.

Software Depthmap

Nelle righe che seguono verrà illustrato il funzionamento del software *Depthmap* descrivendo solamente ciò che nel primo capitolo di teoria sulla *Space Syntax* non è stato spiegato.

Depthmap è un software open source in grado di calcolare una grande varietà di analisi configurazionali programmato per interpretare e comprendere processi sociali ed economici all'interno della rete urbana. Il software fu inizialmente ideato da Alasdair Turner (2000-2010) ed è ora in continuo sviluppo e gestione di Tasos Varoudis (2011-2015).

In *Depthmap* è possibile creare la mappa su cui si vuole condurre un'analisi configurazionale oppure, nel caso la mappa sia di notevole dimensione, importarla in formato vettoriale che deve necessariamente essere in estensione *dxf*. Per questo lavoro di tesi, la costruzione della mappa è avvenuta sul software *AutoCAD* (mappa poligonale) ed è stata poi convertita dal formato *dwg* a quello *dxf*. La trasformazione del dato in ingresso da un tipo di mappa poligonale ad un tipo di mappa lineare avviene attraverso il comando *All lines Map* selezionando uno spazio aperto della mappa. L'elaborazione delle varie tipologie della mappa della città di Milano di questo studio ha richiesto in media 4 ore di running del software. Una volta trasformata la mappa in ingresso, il software *Depthmap* permette di ridurla secondo il minimo numero di linee possibili attraverso il comando *Reduce to fewest line map*; il risultato è la creazione di due mappe, *subset* e *minimal*: la prima garantisce la creazione di un unico grafo mentre la seconda non lo garantisce.

Le analisi possibili sono principalmente tre: *Axial Analysis*, *Segment Analysis* e *Angular Analysis*. Il loro significato è stato illustrato nel capitolo 1; qui ci si sofferma su alcuni aspetti operativi.

Nella fase di selezione del raggio entro cui condurre un tipo di analisi locale, è possibile scegliere tra raggio topologico e quello metrico. Nel primo caso, è necessario inserire il numero massimo di svolte e cambi direzioni possibili per definire i limiti della ricerca; per esempio un raggio topologico pari a 3 significa che il numero massimo di svolte da ogni elemento della mappa è pari a 3. Nel secondo caso bisogna prima di tutto trasformare la *Axial Map* in *Segment Map* attraverso il comando *Convert Active Map*. In questo tipo di grafo, oltre agli indici configurazionali che vengono calcolati nell'*Axial Map*, vi sono quelli calcolati tenendo conto degli angoli di incidenza tra due linee differenti, per

esempio oltre all'indice di *Connectivity* è presente anche l'indice di *Angular Connectivity*. *Depthmap* mette a disposizione due tipi di analisi della *Segment Map*:

- *Standard Angular Analysis*: calcola l'angolo cumulativo tra una linea e ogni altra ad essa collegata nella mappa in analisi e fornisce tre diversi parametri, ossia *Angular Node Count*, il numero dei segmenti presenti in un percorso dal segmento selezionato verso gli altri, *Angular Total Depth*, la somma degli angoli di incidenza nel percorso minimo dal segmento selezionato verso gli altri, e *Angular Mean Depth*, la media calcolata come il rapporto tra i primi due;
- *Tulip Analysis*: categorizza i tipi di svolta e i cambi di direzione per avvicinarsi maggiormente alla realtà. «Could it simply be part of the human condition that turns are categorised rather than remembered explicitly? If so, could an analysis of categorised turns lead to a better correlation with human movement patterns than one without categorised turns?» queste le domande poste da Montello e Hillier (1991 e 1999). La categorizzazione in default è quella in cui l'angolo di discretizzazione è 45° e le classi son state illustrate nel paragrafo 1.2.1.2; a seconda della tipologia scelta la velocità di computazione del software varia.

Data la notevole dimensione della mappa in ingresso, nel lavoro svolto si è scelto di usare l'analisi di tipo *Tulip Analysis 1024 bins* in cui il software *Depthmap* approssima il valore del singolo angolo a seconda che sia minore o maggiore di determinate soglie.

Depthmap permette inoltre di condurre delle *isovist analyses* che non vengono qui spiegate in quanto non sono state affrontate nel lavoro di tesi.

Software GIS

La definizione di un sistema di informazione geografica, ovvero GIS (*Geographical/Geospatial Information System*) fu coniata negli anni Sessanta. Un GIS è uno strumento che consente di condurre analisi geografiche e statistiche e memorizza tutte le informazioni in un database in grado fornire una rappresentazione digitale dei contenuti di una o più carte. I sistemi di informazione geografica permettono l'analisi e l'integrazione di informazioni di natura diversa, dati geografici e dati alfanumerici che sono organizzati secondo dei

modelli di dati specifici: carte, immagini, dati digitali, dati testuali, tabelle, GPS. La più importante suddivisione dei dati è tra i dati di tipo vettoriale e quelli di tipo raster.

I dati vettoriali vengono utilizzati per la descrizione della componente geografica dell'informazione territoriale; le caratteristiche geometriche di un determinato oggetto sono registrate come una successione di coordinate dei punti che lo formano. Tipici dati memorizzati in forma vettoriale sono quelli della digitalizzazione di mappe dai CAD e dei rilievi topografici attraverso gli strumenti GPS. Nel modello di dati vettoriali si utilizzano una serie di primitive per rappresentare gli oggetti del mondo reale: il punto, la linea e l'area; che non verranno spiegata in questa sede.

I dati raster sono, come quelli vettoriali, utilizzati per la descrizione della componente geografica dell'informazione territoriale; in questo caso però, le caratteristiche geometriche di un determinato oggetto sono rappresentate come una griglia o insieme di pixel di cui vengono memorizzate le coordinate. Tipici dati memorizzati in forma raster sono quelli generati dagli scanner e dai programmi di interpretazione di immagini.

Solitamente, i dati vettoriali vengono utilizzati per le informazioni discrete mentre quelli raster per i dati continui; entrambi possono essere associati ad attributi: i dati vettoriali sono legati alle loro primitive mentre i dati raster ai singoli celle o pixel.

Alle varie tipologie dei dati corrispondono diversi formati dell'ambiente GIS, quello più conosciuto è il formato *shapefile*. Il formato *shapefile* fu introdotto da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) con ArcView GIS v.2 all'inizio degli anni '90. Il formato *shapefile* memorizza in unico insieme di dati la geometria e gli attributi di un entità spaziale, che vengono organizzati sulla base di più file caratterizzati dallo stesso nome ma con estensione diversa. Uno *shapefile* è composto da almeno tre file di diversa estensione: un file per la gestione degli attributi (con estensione *dbf*), un file contenente le informazioni geometriche (con estensione *shp*) e un file contenente i metadati (con estensione *shx*).

Data la necessità di rappresentare e memorizzare i dati in modo preciso a seconda di diversi flussi di lavoro, ESRI ha introdotto il modello di dati geodatabase per offrire all'utente molti vantaggi per la gestione e l'aggiornamento di dati GIS. In un geodatabase le informazioni geografiche e i loro attributi possono essere strutturati per lavorare come un sistema integrato usando le regole, le relazioni e le associazioni topologiche; è possibile, quindi, creare dei dati geografici che imitano il comportamento di specifiche

caratteristiche del modo reale. Il geodatabase non è quindi un semplice formato di dati ma è un modello di dati in quanto, oltre ai dati, è in grado di memorizzare regole e relazioni sugli attributi che interessano gli oggetti del mondo reale che si stanno rappresentando al suo interno. La sua architettura è basata sui concetti base del DBMS in cui i dati sono organizzati in tabelle, le righe di una tabella possono essere correlate con le righe di un'altra tabella tramite una colonna comune alle tabelle coinvolte nella relazione, le operazioni sulle tabelle e sui loro dati avviene attraverso una serie di funzioni SQL. I vantaggi nell'usare il geodatabase sono molti: innanzitutto è permessa una gestione centralizzata dei dati geografici che favorisce un accesso rapido alle informazioni, inoltre si possono supportare delle geometrie complesse in più dimensioni e suddividere gli oggetti utilizzando diversi sottotipi a seconda di specifici attributi e crearne di nuovi personalizzati; un prezioso vantaggio è poi quello di avere delle regole basate sulla topologia definendo quindi delle relazioni spaziali tra i dati illustrati.

Sono disponibili molti sistemi che implementano le funzionalità GIS e si possono suddividere in generici, in grado di svolgere la maggior parte delle funzioni, specializzati, sviluppati in ambiti specifici come idrologia o marketing, visualizzatori, usati soprattutto per scopi di visualizzazione e creazione delle mappe, e strumentali, in grado di produrre e trasformare dati. In questo lavoro di tesi, si sono utilizzati due software GIS: ArcGIS e QGIS.

ArcGIS

ArcGIS è una famiglia di software di ESRI che comprende le linee di prodotti ArcGIS Desktop, ArcGIS Server ed ArcGIS Mobile. Il primo è un software GIS integrato che include tutti gli strumenti necessari per poter sfruttare al meglio un GIS; viene commercializzato con 4 tipi di licenze: ArcInfo, ArcEditor, ArcView e ArcReader, dalla più fornita a quella più bassa. Il software è distribuito in Italia attraverso una rete di aziende business partner ESRI che fanno riferimento alla sede italiana di ESRI, ovvero ESRI Italia che si trova a Roma, non è quindi un software open source.

Vi sono moltissime funzionalità in ArcGIS, di seguito si riportano solo due degli strumenti usati.

Edit Coordinate System

Per associare un sistema di riferimento ad un qualsiasi strato informativo esistono diversi metodi tra *Geographic Coordinates System*, un sistema di riferimento in coordinate geografiche oppure ellissoidiche, e *Projected Coordinates System*, un sistema di riferimento in coordinate cartografiche o piane. In ArcGis lo strumento per passare da un sistema di riferimento ad un altro è *Data Management* che permette di collocare lo shapefile selezionato nel nuovo sistema di riferimento attraverso il motore *Projection Engine*.

In Italia convivono due diversi sistemi di riferimento a ognuno dei quali è associato un sistema piano che assegna ad ogni punto della superficie ellissoidica una coppia di coordinate cartesiane per mezzo di una corrispondenza biunivoca caratteristica della proiezione o della rappresentazione utilizzata. Il sistema geodetico ufficiale italiano è ancora quello introdotto nel primo dopoguerra e denominato ROMA40; a tale riferimento è associato il sistema piano GAUSS-BOAGA. Il riferimento europeo, tramite il sistema cartografico UTM, è quello ED50, e infine il sistema geodetico mondiale è quello WGS84, a cui è anche associato il sistema cartografico UTM, generalmente indicato come UTM(WGS84). In questa sede di lavoro si è utilizzato il sistema di riferimento Roma Monte Mario con datum WGS84.

Geoprocessing

Con questo termine si intendono l'insieme di tutti i processi che permettono di elaborare i dati o crearne di nuovi attraverso funzioni analitiche basate sulle relazioni spaziali esistenti tra gli elementi geografici. Esistono moltissime funzioni di questo tipo, le più ricorrenti e quelle utilizzate per la definizione del dato in ingresso sono la costruzione di un *buffer*, ossia la superficie che ricopre l'oggetto selezionato fino ad una distanza fissata (utilizzato per definire un possibile buffer della città in analisi), la limitazione dell'estensione di un dato vettoriale ad una specifica area di interessa attraverso il comando clip (usato per ritagliare alcuni dati forniti dal Tedoc, servizio tesi e documentazione, che ricoprono l'intera regione della Lombardia).

QGIS

Quantum GIS (QGIS) è un software open source con interfaccia grafica intuitiva e multiplatforma (Windows, Linux e Mac). QGIS è stato progettato con un'architettura plugin; ciò permette l'aggiunta di numerosi nuovi elementi e funzioni. Si possono gestire i vari plugin attraverso la finestra di dialogo *Manage and install plugins* in cui è presente la lista di tutti i plugin, installati e non, e di ognuno è riportata la descrizione, gli autori, se è sperimentale e la versione disponibile. Di seguito vengono riportati alcuni dei plugin principalmente usati in questa sede.

Plugin GDALTools - Georeferencing

Il plugin GDALTools fa da interfaccia grafica ad una collezione di strumenti GDAL (*Geospatial Data Abstraction Library*) come strumenti per interrogare, proiettare ed unire raster in vari formati. La libreria GDAL consiste di un insieme di programmi da linea di comando, ognuno con una vasta lista di opzioni; le funzioni principali che offre sono:

- proiezioni: possono essere *riproiezioni*, utile per riproiettare immagini raster, *assegna proiezione*, usato per assegnare una proiezione al dato raster che è già georeferenziato, *estrai proiezione*, al fine di estrarre le informazioni del processo di proiezione dal file in input;
- conversioni: *rasterizzazione*, nel convertire un formato vettoriale in quello raster, *poligonizzazione*, in cui vengono creati dei poligoni che includono tutte quelle celle di un raster che hanno in comune un valore del pixel, *conversione formati* per convertire i dati raster in altri tipi di formati;
- estrazioni di curve di livello oppure di un subset di un dato raster;
- analisi: *filtro*, per eliminare degli oggetti con determinate caratteristiche (di dimensione minore ad un valore dato), *prossimità*, in cui viene indicata la distanza dal centro di ogni pixel al centro del pixel più vicino, *interpolazione* a seconda di diverse metodologie, *analisi geomorfologica* in cui si visualizzano e gestiscono i DEM.

Tra le varie funzioni di GDALTools, ci si sofferma qui sul plugin Georeferenziatore, uno strumento per generare file di georeferenziazione per i raster. Questo strumento permette di georeferenziare raster in sistemi di coordinate geografiche o proiettate, creando un nuovo file, GeoTiff. L'approccio di base del plugin è quello di individuare punti del raster per i quali si è in grado di determinare accuratamente le coordinate.

Per definire le coordinate X e Y che corrispondono ai punti selezionati sull'immagine si possono utilizzare tre procedure alternative:

- in alcuni casi, nei raster sono presenti punti con le coordinate scritte sull'immagine; si possono quindi inserire manualmente le coordinate in QGIS;
- utilizzare un layer già georeferito che contiene le entità del raster da georeferire. In questo caso, le coordinate vanno inserite cliccando sul layer di riferimento nella vista mappa;
- usare una risorsa web (OpenStreetMap, Google Maps, ecc.) su cui selezionare più punti di cui si vogliono le coordinate e scegliere un metodo di trasformazione. Sulla base dei parametri inseriti, il plugin calcola le informazioni del GeoTiff; più coordinate vengono fornite, migliore sarà il risultato.

Il primo passo da fare, è quindi quello di definire i punti GCP attraverso i quali verrà eseguito il processo di georeferenziazione del dato raster (in Figura A.10 è illustrato l'esempio del caso di studio). Questi punti vengono salvati in un file di testo separato (di estensione *points*), permettendo di aggiungere nuovi punti o eliminarne alcuni in un secondo momento. Una volta aggiunti i GCP, è necessario definire le impostazioni di trasformazione del processo di georeferenziazione.

Sono disponibili diversi algoritmi di trasformazione e la scelta dipende dal numero di GCP a disposizione, dal tipo e dalla qualità dei dati di input e dall'entità di distorsione geometrica accettabile nel risultato finale:

- l'algoritmo di trasformazione lineare è utilizzato per generare un file di georeferenziazione ma non deforma il raster originale adattandolo secondo la trasformazione di coordinate;
- la trasformazione di Helmert esegue una rototraslazione del raster con variazione di scala;

- gli algoritmi Polinomiali di grado 1-3 sono i più utilizzati per garantire la maggior coerenza tra i punti inseriti e quelli risultanti dopo la trasformazione. L'algoritmo polinomiale più utilizzato è la trasformazione tramite il polinomio di secondo grado che permette curvature nell'immagine da produrre;
- il metodo di trasformazione di Thin Plate Splin permette di introdurre delle deformazioni localizzate all'interno dei dati; utile nel caso in cui l'immagine da georeferenziare sia di scarsa risoluzione;
- la trasformazione Proiettiva consente una rotazione e una traslazione delle coordinate.

È necessario poi definire il metodo di campionamento, esistono tre algoritmi differenti: *Nearest neighbour*, in cui il pixel in output assume il valore di quello più vicino nell'immagine trasformata; *Bilinear resampling*, in cui il pixel in output assume il valore interpolato dei quattro più vicini nell'immagine trasformata e *Cubic convolution* che assegna al pixel in output il valore interpolato dei sedici più vicini nell'immagine trasformata. Una volta definiti i GCP necessari e impostati i vari parametri della trasformazione, il processo di georeferenziazione può essere avviato.

Nel caso studio qui presentato, è stato scelto la trasformazione polinomiale di terzo tipo al fine di ottenere una elevata accuratezza e l'algoritmo di campionamento scelto è stato il primo (*Nearest neighbour*): è stato necessario selezionare dodici punti di controllo per permettere la georeferenziazione del dato raster.

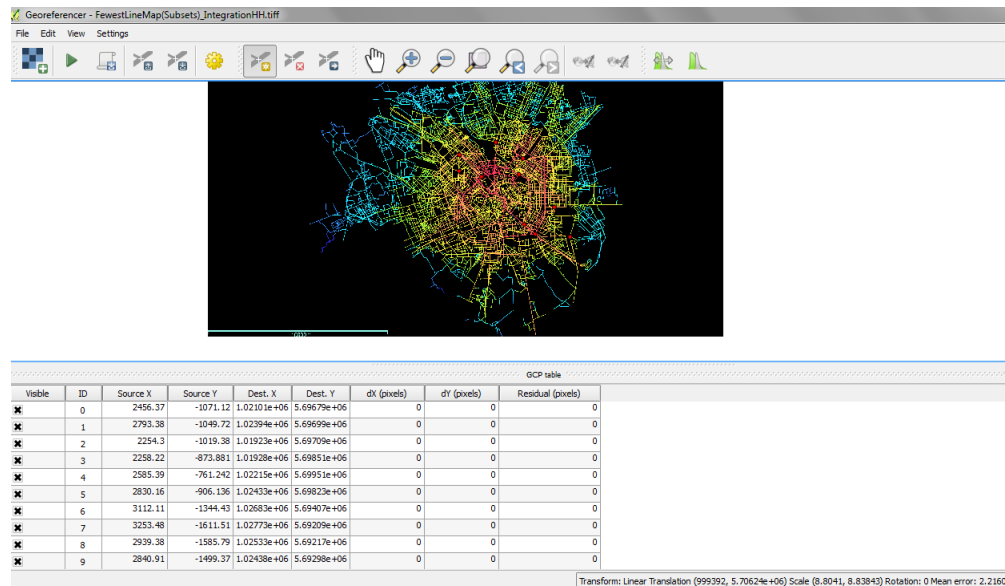


Figura A.10: Visualizzazione dei GCP sulla Axial Map in QGIS.

Plugin Space Syntax Toolkit

QGIS *Space Syntax Toolkit* è un plugin sviluppato da Jorge Gil dello *Space Syntax Laboratory*, The Bartlett (UCL, Londra) per condurre analisi spaziali e statistiche e permettere di implementare il software *DepthmapX* all'interno di un ambiente GIS.

All'interno di QGIS, *Space Syntax Toolkit* consiste di due moduli:

- *Graph analysis*: supporta la verifica topologica e geometrica del dato in ingresso e permette di condurre tutte le analisi possibili secondo *Space Syntax*, ossia la generazione delle mappe *Axial* e *Segment* e il calcolo degli indici configurazionali attraverso il collegamento diretto con il software *DepthmapXnet*;
- *Attribute explorer*: permette l'esplorazione visuale e statistica dei risultati dell'analisi attraverso la generazione di mappe oppure di diagrammi (istogrammi e *scatter plot*).

Rispetto a *Depthmap*, questo plugin permette di condurre delle selezioni attraverso gli indici configurazionali e renderle visibili su mappa secondo alcuni parametri come:

- *colour range*: permette di visualizzare la distribuzione dell'indice configurazionale selezionato nelle modalità *classic* (di default), *red-blue*, *greyscale*, *monochrome*;
- *invert*: assegna i colori dai toni rosso e arancio agli oggetti che presentano un basso valore dell'indice selezionato;
- *width/size*: determina lo spessore dell'oggetto, in questo studio della *line*; rimane costante in tutti i tipi di *colour range*, eccetto in *monochrome* in cui varia a seconda del valore dell'attributo;
- *interval number*: permette di fissare il numero degli intervalli dei valori dell'indice per cui cambia il colore di layout (il minimo è 10, il massimo è 1024);
- *intervl type*: descrive il metodo per determinare gli intervalli del *colour range* con le opzioni di *equal intervals*, *quantiles*, *natural breaks*, *costum (equal)*. In quest'ultima opzione, è possibile modificare il numero degli intervalli considerati oppure il valore assoluto dell'attributo.

In Figura A.11 è riportato l'esempio del caso di studio. Inoltre è possibile fare delle analisi di tipo statistico sugli attributi considerando parametri come il numero degli oggetti presenti, la media, lo scarto quadratico medio e la varianza della serie dei valori di uno specifico attributo, la mediana, il valore minimo e quello massimo, il coefficiente di Gini. Le correlazioni tra questi parametri si possono visualizzare attraverso grafici a seconda dello scopo del lavoro.

Nel lavoro di tesi, si sono utilizzati entrambi i moduli dello *Space Syntax Toolkit* e si sono realizzati tutti i layout delle mappe attraverso questo strumento; mentre i layout delle analisi statistiche si sono realizzati in *Excel*.

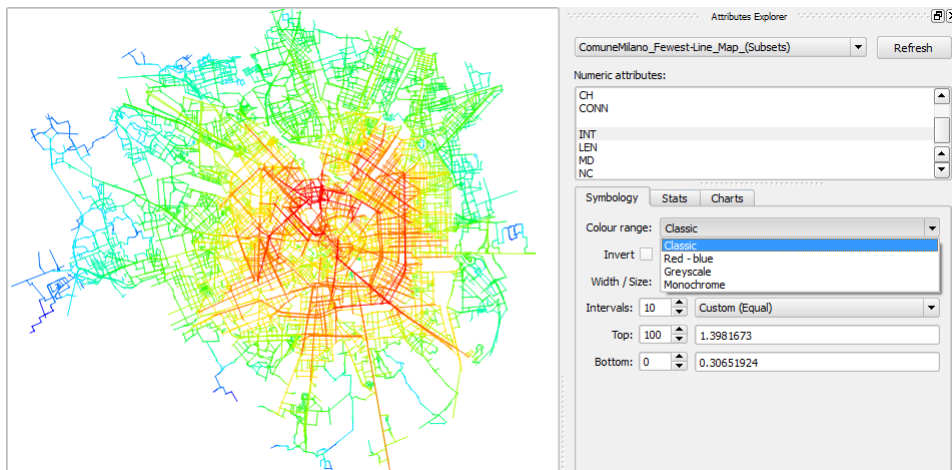


Figura A.11: Finestra di lavoro dello strumento *Attribute explorer* di *Space Syntax Toolkit* in *QGIS*.

Select by expression

Il software *QGIS* permette di condurre delle interrogazioni a seconda dei valori degli attributi associati alle entità della mappa in analisi. Questo è possibile, oltre che tramite la selezione manuale di alcuni oggetti o quella spaziale, con il comando *Select features by expression*: la finestra di questo strumento permette di scrivere l'espressione algebrica fornendo i possibili attributi selezionabili (prendendo come esempio il lavoro di tesi, gli attributi della *Axial Map* sono per esempio il codice di riferimento, l'indice di integrazione, di scelta, di connettività, ecc.), una lista di operazioni possibili, conversioni o stringhe, e i valori che il singolo attributo selezionato può assumere.

Nel caso studio, questa funzione è stata utilizzata per condurre alcune delle analisi presentate nell'ultimo capitolo riferito alle possibili applicazioni sulla città di Milano.

Bibliografia

- [Alexander, 1965] Alexander Christopher, *A City Is Not a Tree*, LeGates & Stout The City Reader, Londra, 1965, pp. 118-131.
- [Alleva, Falorsi, 2009] Alleva Giorgio, Falorsi Piero Demetrio, *Indicatori e modelli statistici per la valutazione degli squilibri territoriali*, Milano, FrancoAngeli, 2009, pp. 309-320.
- [A. Svil. terr., 2000] Assessorato allo Sviluppo del territorio, Comune di Milano, *Ricostruire la Grande Milano Strategie, Politiche, Regole Documento di Inquadramento delle politiche urbanistiche comunali*, Milano, 2000.
- [Basso et al. 2007] Basso Sara, Brunini Claudia, Chiocchini Raffaella, *Accessibilità ai punti di interesse*, XXVIII Conferenza italiana di scienze regionali, Bolzano, 2007.
- [Batty, 2004] Batty M., *A new Theory of Space Syntax*, Working Paper 75, CASA, UCL, Londra, 2004.
- [Berbenni, 2010] Berbenni Enrico, *I processi dello sviluppo urbano*, Milano, Franco Angeli, 2010, pp. 17-20, 25, 294-295.
- [ESRI, 2001] Booth Bob, Mitchell Andy, *Getting started with ArcGis*, USA, ESRI, 2001.
- [Bortoli et al.2001] Bortoli M., Cutini V., *Centralità e uso del suolo urbano. L'analisi configurazionale del centro storico di Volterra*, ETS, Pisa, 2001.

- [Cantalupi,1884] Cantalupi Antonio, *Le strade di Milano e la loro pavimentazione*, Tipolitografia degli Ingegneri, Milano, 1884.
- [Cappelletti et al. 2014] Cappelletti Ludovica, Conte Sara, Sangion Silvia, *Milano perduta milano sperata*, Milano, Mostra itinerario Ritratti di città, 2014.
- [Charalambous, 2014] Charalambous Nadia, Geddes Ilaria, Christou Natasa, *Space Syntax - Assessing multiple urban developments in Limassol - from a traffic place to a people place*, Local Workshop Reports, Cost Assessing Usability of Accessibility Instruments, capitolo 3, pp. 40.
- [Cianciotta, 2014] Cianciotta Stefano, *Rigenerare le città con la resilienza*, Urbanistica partecipata, 2014.
- [Colucci, 2012] Colucci Angela, *Le città resilienti: approcci e strategie*, Pavia, 2012, pp. 11.
- [Crucitti et al. 2006] Crucitti P., Latora V., Porta S., *Centrality in networks of urban streets*, Chaos, 16, 015113, 2006.
- [Cutini, 2001a] Cutini Valerio, *Configuration and Centrality Some evidence from two Italian case studies*, Atlanta, 3rd Space Syntax Symposium, 2001.
- [Cutini, 2001b] Cutini Valerio, *Centrality and Land Use: Three Case Studies on the Configurational Hypothesis*, Cybergeog, Revue Européenne de Géographie, 188, 2001.
- [Cutini, 2004] Cutini Valerio, *Centri storici e aree di nuova centralità: verso una ridefinizione della nozione di accessibilità urbana*, In: Atti della XXV Conferenza Nazionale AISRe – *Infrastrutture e Territorio*, 2004.
- [Cutini et al. 2004] Cutini V., Petri M., Santucci A., *From axial maps to Mark Point Parameter Analysis (Ma.P.P.A.). A G.I.S. implemented method to automate configurational analysis*, in AA.VV.,

- Computational Science and its Applications – ICCSA 2004 –
Lecture Notes in Computer Science, 3044, 1107-1116.
- [Cutini, 2010] Cutini Valerio, *La rivincita dello spazio urbano. L'approccio configurazionale all'analisi e allo studio dei centri abitati*, Pisa University Press, Pisa, 2010.
- [Cutini, 2011] Cutini Valerio, *Ripide griglie urbane: per una analisi configurazionale delle città su terreno acclive*, XXXII conferenza italiana di scienze regionali, Torino, 15-17 settembre 2011.
- [Cutini, 2014a] Cutini Valerio, *Spatial analysis of urban squares*, TeMA, – Journal of Land Use, Mobility and Environment, Special Issue, June 2014, p. 247-258, ISSN: 1970-9889.
- [Cutini, 2014b] Cutini Valerio, *Vulnerabilità e resilienza dei sistemi insediativi. La sostenibilità spaziale delle trasformazioni urbane*, In: Mazzola F., Musolino D., Provenzano V. (Eds.): *Reti, nuovi settori e sostenibilità*, Franco Angeli, Milano, 2014, pp. 271-290.
- [De Finetti, 2002] De Finetti, *Milano, costruzione di una città*, Milano, Ulrico Hoepli Editore, 2002, pp. 324, 329.
- [Denti, Mauri, 2000] Denti Giovanni, Mauri Annalisa, *Milano: l'ambiente, il territorio, la città*, Firenze, Alinea Editrice, 2000, pp. 108, 136, 140.
- [Dhanani et al, 2012] Dhanani Ashley, Vughan Laura, Elleul Claire, Griffiths Sam, *From the axial line to the walked line: evaluating the utility of commercial and user-generated street network datasets in space syntax analysis*, Santiago del Cile, Eight International Space Syntax Symposium, 2012, paper 8211, pp.6 -10.
- [Eboli et al. 2010] Eboli Laura, Carmen Forciniti, Gabriella Mazzulla, *Lo studio delle interazioni tra il sistema dei trasporti e il sistema territoriale: lo stato della ricerca e gli orientamenti futuri*, XXXI Conferenza italiana di scienze regionali, 2010.

- [Erba, 2000] Erba Valeria, Molon Marina, Morandi Corinna, *Bovisa una riqualificazione possibile*, Milano, Unicopli, 2000.
- [Fiorese, 2008] Fiorese Giorgio, *Per un Hub della conoscenza: con arte e scienza declinate nel fare*, Milano, Maggioli editore, 2008.
- [Gambi, Gozzoli, 1997] Gambi Lucio, Maria Cristina Gozzoli, *Milano*, Bari, Laterza, 1997.
- [Hillier et al, 1987] Hillier B, Burdett R, Peponis J, Penn A, *Creating Life: or, does architecture determine anything?*, Arch. &Comport/Arch. Behav., 1987, vol. 3, pp. 233-250.
- [Hillier, Penn, 2004] Hillier Bill, Penn Alan, *Rejoinder to Carlo Ratti, Environment and Planning B: Planning and Design*, 2004, vol. 31.
- [Hillier et al, 2014] Hillier Bill, Kinda Al_Sayed, Alasdair Turner, Shinichi Iida, Alan Penn, *Space Syntax Methodology*, Londra, 2014.
- [Il sole24, 2007] Il Sole 24 Ore, *Edilizia e Territorio*, Urbanpromo 2007, numero 45, pag 41.
- [Jha et al. 2013] Jha A.K., Miner T.W., Stanton-Geddes Z., *Building Urban Resilience: Principles, Tools and Practice*, Washington (DC): World Bank Publications, 2013.
- [Jiang et el. 1999] Jiang B., B. Claramunt, M. Batty, *Geometric accessibility and geographic information: extending desktop GIS to space syntax. Computers, Environment and Urban Systems*, 1999, n. 23, pp. 127- 146.
- [Jiang et al. 2000] Jiang B., Claramunt C., *Intergration of Space Syntax into GIS: New Perspective for Urban Morphology*, 2000.
- [Jiang, 2004] Jiang B., Claramunt C., *A structural Approach to the Model Generalization of an Urban Street Network*, GeoInformation, 2004, n. 8.

- [Joutsiniemi, 2010] Joutsiniemi Anssi, *Becoming metapolis- a configurational approach*, Tampere, University of Technology, 2010.
- [Kwan, 2000] Kwan M., *Analysis of human spatial behaviour in GIS environment: Recent developments and future prospects*, Geographical systems, 2000, n. 2, pp. 85-90.
- [Lapini, 2015] Lapini Gian Luca, *Storia di Milano*, 2015.
- [Lars-Göran, 2009] Lars-Göran Mattsson, *Space Syntax and attraction-accessibility*, Royal Institute of Technology, Stoccolma, 7th International Space Syntax Symposium, 2009.
- [Lars, 2014] Lars Marcus, Stahle Alexander, Karlstrom Anders, *Place Syntax: Geographic Accessibility with Axial Lines in GIS*, Stoccolma, 2014.
- [Masucci et al, 2015.] Masucci, A. Paolo, Elsa Arcaute, Erez Hatna, Kiril Stanilov, Michael Batty, *On the problem of boundaries and scaling for urban street networks*, The Royal Society Publishing, 2015.
- [Mazza, 2006] Mazza Luigi, *20 CITTÀ A CONFRONTO*, Milano, 2006, pp. 24-45.
- [Oliva. 2002] Oliva Federico, *L'urbanistica di Milano: quel che resta dei piani urbanistici nella crescita e nella trasformazione della città*, Milano, Hoepli, 2002, pp. 420-430.
- [Park, 2009] Park Hoon-Tae, *Boundary Effects on the Intelligibility and Predictability of Spatial Systems*, Stoccolma, 7th International Space Syntax Symposium, 2009, n. 086.
- [Pereira et al. 2012] R.H. Pereira, F.R. Holanda, V.A. Medeiros, A.P.Barros, *The use of Space Syntax in urban transport analysis: limits and potentials*, Santiago del Cile, 2012, Paper 8214.
- [Porta et al, 2006a] Porta Sergio, Laotora Vito, *Multiple Centrality Assessment. Centralità e ordine complesso nell'analisi spaziale e nel progetto urbano*, Human Space Lab, Milano, 2006.

- [Porta et al, 2006b] Porta S, Crucitti P, Latora V, *The network analysis of urban streets: a dual approach*, *Physica A* 369, 2006, pp. 853-866.
- [Porta et al, 2006c] Porta S, Crucitti P, Latora V, *The network analysis of urban streets: a primal approach*, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2006, vol. 33, pp. 705-725.
- [QGIS, 2014] QGIS Project, QGIS User Guide, 2014.
- [Ratti, 2004] Ratti C., *Space syntax: some inconsistencies*. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2004 v. 31, p. 487-499.
- [Salamone, 1942] Salamone L., *Il piano regolatore generale*, Ragusa, rivista giuridica, 1942.
- [Spinelli, 1988] Spinelli Marina, *Uso dello spazio e vita urbana a Milano tra XII e XIII secolo: l'esempio delle botteghe di piazza Duomo*, in *Paesaggi urbani dell'Italia padana nei secoli VIII-XIV*, Bologna, Capelli, 1988.
- [Storchi, Armanni, 2010] S.Storchi, O.Armanni, *Centri storici e nuove centralità urbane*. Firenze, Alinea, 2010, pp. 69-80.
- [Torre, 2007] Torre Angelo, *Per vie di terra, movimenti di uomini e di cose nelle società di antico regime*, Milano, Franco Angeli, 2007.
- [Touring Club It., 1998] Touring Club Italiano, *Guida di Italia: Milano*, Milano, Touring Editore, 1998, pp. 509.
- [Touring Club It., 2003] Touring Club Italiano, *Milano e provincia: Monza e la Brianza milanese, l'Adda, il Ticino, le Abbazie*, Milano, Touring Editore, 2003, pp.99.
- [Turner, 2001] Turner Alasdair, *Angular Analysis*, Atlanta, Third International Space Syntax Symposium, 2001, pp. 65.
- [Urbanistica, 2009] Urbanistica, real estate & cci, 2009.

- [Voigt et al.] Voigt Andreas, Czerkauer-Yamu Claudia, *Strategic Planning and Design with Space Syntax*, Vienna University of Technology, Interdisciplinary Centre of Spatial Simulation and Modelling, Austria.
- [Yang, Hillier, 2007] Yang Tao, Hillier Bill, *The fuzzy boundary: the spatial definition of urban areas*, Istanbul, 6th International Space Syntax Symposium, 2007, n. 091.