

Trasporto pubblico su gomma: metodologie per un progetto territoriale

Anna Moretti, Giovanna Santambrogio, Paola Villani

Il trasporto su gomma, oggi che la politica delle grandi infrastrutture su ferro si è scontrata con notevoli problemi di finanziamento e di definizione dei tracciati, fa parte di quelle soluzioni trasportistiche che il decennio passato aveva parzialmente trascurato e che attualmente devono essere riconsiderate per le loro notevoli potenzialità.

I tracciati connotati da forti movimenti pendolari risultano notevolmente decongestionati nel momento stesso in cui viene realizzata una linea su ferro corrispondente alle origini-destinazioni dei movimenti: ma, in brevissimo tempo, la stessa linea si rivelerà del tutto insufficiente sia per garantire quei collegamenti di tipo pendolare che hanno portato alla sua strutturazione, sia per rispondere alle nuove domande di collegamento che la linea stessa, dal momento della sua attuazione, ha indotto.

La rete su ferro dati i costi e la sua elevata capacità di servizio, è generalmente progettata per rispondere ad una consistente domanda di trasporto, che solitamente si riscontra lungo le radiali presenti nelle aree metropolitane. In ambito extraurbano la connessione di tutte le aree comunali sia in senso radiale che trasversale può essere assicurata o dall'uso del veicolo privato o dall'integrazione della rete su ferro con un sistema di servizio autobus che connetta le aree edificate agli assi caratterizzati dalla presenza dell'infrastruttura su rotaia.

Il limite maggiore delle linee su ferro è relativo all'esigua copertura spaziale che questa tipologia di trasporto offre. Solo nell'area più centrale, caratterizzata solitamente da una estrema diffusione di stazioni appartenenti a molteplici linee ferroviarie e metropolitane, l'utenza utilizza percorsi pedonali pur di raggiungere le stazioni delle linee ferroviarie o metropolitane ma questo non avviene certamente nell'area periferica, principalmente a causa della minore densità abitativa che determina la maggiore distanza tra le aree residenziali disseminate sul territorio: la popolazione, per questo tragitto si avvale solitamente del veicolo privato.

Se poi l'ubicazione della stazione è centrale rispetto all'edificio e non esiste un parcheggio di interscambio per autoveicoli si verifica una perdita diffusa di qualità urbana poiché tutta la zona in prossimità della fermata sulla linea ferroviaria o metropolitana è utilizzata per la sosta dei veicoli. È una casistica che si riscontra piuttosto frequentemente sia nell'area metropolitana sia nei comuni delle province più esterne.

Determinante diventa dunque la qualità funzionale e la modalità di progettazione dei luoghi dell'interscambio: il passaggio tra ferro e gomma può avvenire secondo modalità statiche (parcheggi) o dinamiche (interconnessione con linee di autobus). La modalità statica, relativa ai parcheggi di interscambio in prossimità delle stazioni, rappresenta per il centro cittadino un rilevante consumo di suolo poiché la tipologia di parcheggio a raso è solitamente la risposta più frequente fornita dall'amministrazione pubblica al problema (Milano MM1 Pagano, stazione Porta Garibaldi, stazione Porta Genova, San Donato Mil. MM3, Casalpusterlengo, ecc.).

La modalità di interconnessione dinamica si fonda invece su un servizio di trasporto pubblico capillarmente distribuito sul territorio e tale da connettersi agli assi di penetrazione nell'area più densamente edificata solitamente rappresentati dalle linee su ferro.

Il problema dell'intermodalità tra mezzo privato e pubblico potrebbe essere infatti decisamente contenuto qualora si creassero poli di interscambio tra le linee su ferro e linee pubbliche su gomma, attestate direttamente sulle stazioni, e con percorsi tali da connettere con una maglia finissima tutti i comuni dell'area metropolitana.

La rete di autobus infatti può adattarsi perfettamente al tessuto extraurbano e massimizzare così la diffusione dell'offerta di trasporto.

Le molteplici potenzialità del trasporto pubblico su sede stradale sono relative

- alla quasi totale assenza di costi per la strutturazione del servizio
- al minimo impatto territoriale, soprattutto se rapportato alle infrastrutture su ferro

- alla totale assenza di vincoli spaziali e minimo ingombro per la realizzazione di una fermata o stazione di interscambio
- alla totale flessibilita' di risposta in caso di modificazioni della domanda (creazione di nuovi servizi nei pressi della linea di trasporto, necessita' stagionali o temporali definite)
- all'uso diversificato del parco veicoli qualora non sia impiegato per il trasporto pubblico.

Gli inconvenienti del trasporto pubblico su gomma sono invece rappresentati

- dai rallentamenti causati dal traffico automobilistico dovuti alla mancanza di corsie riservate in ambito extraurbano e conseguente impossibilita' nel garantire all'utenza la puntualita' dei mezzi

- dagli aggravii che le stesse linee su gomma possono portare al traffico automobilistico

- dalle ridotte capacita' dei veicoli utilizzati, se rapportate a quelle delle vetture delle linee su ferro

- dai vincoli dettati dalle condizioni meteorologiche in particolari periodi dell'anno che determinano, sulle tratte extraurbane, notevoli differenze nei tempi di viaggio (determinando possibili irregolarita' nelle frequenze di transito dei mezzi)

- dalla non completa fruibilita' di questo sistema di trasporto da parte di alcuni portatori di handicap date le difficolta' di accesso e data la difficolta' di progettare veicoli che consentano l'accesso a raso a tutti coloro che presentano scarse capacita' motorie.

Nonostante cio' il servizio su gomma si configura ugualmente come una tipologia di trasporto pubblico di fondamentale importanza in ambito extraurbano in quanto perfettamente in grado di rispondere alle richieste di mobilita' delle aree periferiche (elevate frequenze in relazione alle possibili connessioni con il sistema forte).

La massimizzazione dell'offerta alla quale si e' precedentemente accennato potrebbe essere realizzata grazie alla ridefinizione della rete di autobus attraverso una strutturazione basata

1) sulla gerarchizzazione delle linee

2) sulla creazione di numerosi itinerari, caratterizzati da una notevole frequenza, in grado di assicurare una buona copertura spaziale del territorio e con percorsi tali da garantire una sostanziale equidistanza tra le fermate

3) sulla creazione di circuiti innestati sulle aste forti cosi da favorire la gerarchizzazione delle linee.

La gerarchizzazione risulta indispensabile per evitare la sovrapposizione delle autolinee sia sui cosiddetti tracciati forti radiali, sia su quelli di connessione tra i comuni. La gerarchizzazione consente inoltre una migliore leggibilita' dei percorsi di cui l'utenza puo' avvalersi. Attualmente purtroppo la compresenza di molteplici linee che diversificano il tracciato solo per brevi tratte e l'assoluta non strutturazione dei percorsi sulla base delle reali necessita' della popolazione e' da imputarsi principalmente ad una mancata razionalizzazione del problema del trasporto pubblico volta a rispondere piu' a interessi settoriali che a ragioni di efficienza del servizio.

La ristrutturazione del sistema del trasporto pubblico deve obbligatoriamente basarsi sull'analisi delle potenzialita' che le reti (ferro e gomma) gia' ora presentano e rifondarsi sui nodi di interscambio: sono questi i luoghi forti su cui puntare per arrivare alla riqualificazione del servizio. Questi possono essere nodi d'interscambio ferrovia o metropolitana/bus oppure bus/bus.

La riconoscibilita' dei nodi di interscambio nel territorio e' di fondamentale importanza per l'utenza: la caratteristica di immediata percezione contribuisce infatti ad una maggior leggibilita' delle potenzialita' della linea stessa e amplifica, senza mutarla sostanzialmente, l'offerta del servizio pubblico: una rete di servizio pubblico ben strutturata e chiaramente leggibile induce la popolazione ad avvalersene.

In realta' soprattutto l'interscambio bus/bus e' attualmente causa di notevoli disagi per l'utenza

- per la presenza di svariate linee afferenti a diverse societa'

- per la mancanza di unificazione tariffaria

- per la considerevole distanza che si rileva in molteplici comuni tra le fermate delle differenti linee.

Il lavoro (1) che qui si intende illustrare riguarda essenzialmente

- l'esemplificazione di una metodologia di analisi di reti di trasporto pubblico applicabile indifferentemente a qualsiasi tipologia di rete e a qualsiasi scala territoriale
- l'applicazione a un caso studio di cui si propone la modificazione delle linee e delle modalita' di servizio sulla base di una reinterpreteazione della domanda territoriale
- l'identificazione dei poli della rete in grado di assumere il ruolo di nodi di interscambio e quindi configurarsi come punti chiave del sistema per la loro leggibilita' a livello territoriale. Proprio per questo motivo la metodologia che qui si propone consente di evidenziare tutti quei nodi che, in un'ottica di ridefinizione dei tracciati esistenti, potrebbero rappresentare i punti di connessione tra linee di differente livello ponendosi come elementi di un nuovo progetto territoriale.

Metodologia di analisi: quali innovazioni

Il tentativo e' quello di razionalizzare su basi scientifiche le differenti linee di trasporto esistenti utilizzando una particolare metodologia territoriale fondata su tecniche di trattamento delle reti (2). E' possibile infatti, avvalendosi di alcuni indicatori che da questa discendono e da altri indicatori da noi elaborati far emergere le potenzialita' insite in un insieme di linee di trasporto per migliorare il livello di servizio globale. Il fine e' quello di conferire una forte connotazione reticolare a tutto il sistema del trasporto.

Ogni indicatore sottolinea limiti e potenzialita' dei nodi della rete relativamente ad un determinato aspetto: collocazione geografica, tipologia del servizio offerto, frequenza, connessione con altre linee. Proprio la lettura comparata degli indicatori consente di elaborare un ordinamento dei nodi della rete sulla base dei molteplici valori geometrici e di servizio considerati individuando cosi' il concetto di struttura gerarchica della rete. Questo infatti e' intuitivo ed e' evidenziato dall'ordine in cui si dispongono i nodi nella rete, in relazione ad alcuni parametri.

Qualsiasi rete di comunicazione si articola secondo una gerarchia e individuarla e' importante per due motivi:

- il livello della gerarchia puo' differire da una rete all'altra, per esempio di fatto o di progetto, generando una variazione di assetti territoriali
- ogni struttura puo' mostrare un proprio ordine interno che si riflette nell'importanza relativa sia dei nodi che degli archi.

Sussiste una sorta di relazione tra importanza dei nodi ed importanza degli archi che li intersecano: maggiore e' la prima piu' e' probabile che i nodi interessati abbiano collegamenti diretti e piu' efficienti con i punti centrali del sistema.

Tale metodologia e' stata utilizzata recentemente anche in Francia per affrontare il trasporto pubblico su gomma attraverso uno approccio scientifico estremamente rigoroso (3) oltre che attraverso un forte impegno pianificatorio delle strutture amministrative.

Nel 1984 e' stato preparato lo Schema Direttore dell'Offerta (S.D.O.) per tutto il sud della regione parigina: i principi fondamentali di questo piano sono sostanzialmente tre e riguardano

- a) la costruzione della rete dei punti di interscambio localizzati nelle vicinanze dei centri residenziali e/o industriali
- b) la strutturazione dell'offerta di servizio diversificata su tre livelli di servizio corrispondenti al trasporto
 - interpolare o regionale
 - settoriale
 - locale, per i collegamenti interni ai comuni

I primi due costituiscono la struttura principale della rete e rappresentano il livello di servizio piu' chiaramente percepibile dall'utente

c) il coordinamento tra i livelli di servizio

In Francia questi principi sono stati estesi a tutto il territorio nazionale e molteplici sono gli esempi di ristrutturazione delle linee di trasporto pubblico effettuate sulla base di tali indicazioni (4).

I progetti non prevedono solamente una ristrutturazione viabilistica ma incidono contemporaneamente sia a livello commerciale sia a livello organizzativo (5).

Metodologia di analisi: quali indicatori

Affrontando il complesso tema delle reti di trasporto il primo problema che si pone è quello della loro rappresentazione. Poiché, esiste una forte dipendenza tra il trasporto e lo sviluppo del territorio è necessario individuare degli strumenti dialettici che si rivelino sufficientemente rappresentativi per la descrizione della loro interrelazione.

Nell'ambito di ricerche riguardanti il tema delle reti di trasporto si può ricorrere agli strumenti di tipo descrittivo-interpretativo, che riproducono il fenomeno in esame attraverso tecniche di simulazione.

Uno strumento matematico e analogico che offre un'elevata capacità descrittiva del sistema, oltre ad un elevato grado di malleabilità operativa, ci viene fornito dalla teoria dei grafi (6): infatti vi sono svariati campi di applicazione, nei quali questa è normalmente applicata e numerosi sono gli esempi dell'utilizzo di questa teoria per la rappresentazione di problemi di trasporto (7). L'uso della teoria dei grafi consente di assegnare ad ogni elemento un valore che sia rappresentativo della grandezza in funzione dell'analisi che vogliamo svolgere.

Un esempio concreto può essere illustrato dalla rappresentazione grafica di una rete ferroviaria in cui l'attribuzione di valori ai nodi (identificati ad esempio dalle stazioni) può rappresentare il numero di linee incidenti, il numero di treni o passeggeri giorno, mentre agli archi può essere attribuito (a seconda del tipo di analisi intrapresa) un valore di linea come distanza chilometrica, di carico in termini di vetture/ora, ecc.

La teoria dei grafi attraverso tali astrazioni permette di effettuare misurazioni delle reti di trasporto. Le misurazioni teoriche dei grafi e gli indici ad essi correlati facilitano lo studio e la comprensione delle reti, infatti

(a) gli indici esprimono relazioni tra i numeri e gli oggetti o le proprietà a cui essi sono assegnati;

(b) le misurazioni consentono di stabilire un ordine metrico tra le diverse reti di trasporto e le diverse proprietà di queste reti;

(c) risultati uguali ottenuti per diversi sistemi di trasporto esprimono gli stessi stati.

Tre sono le classi di misure utilizzate per comparare le reti di trasporto o diverse ipotesi progettuali di una stessa rete:

1) misure globali derivanti dalla teoria dei grafi e relative alla complessità e connettività (8) della rete;

2) misure della forma di rete;

3) misure di accessibilità o centralità che identificano le gerarchie dei nodi di una rete.

Le indicazioni relative alla complessità della rete sono rappresentative delle possibili connessioni e circuitazioni attivabili all'interno della stessa. Più una rete è complessa maggiore sarà il numero dei circuiti attivabili.

La complessità è data dal rapporto tra il numero dei segmenti ed il numero dei nodi ed è compresa tra 0 e 3 (pari alla massima connettività).

Le misure che servono a descrivere le reti di trasporto nella loro globalità sono generalmente costruite come rapporti (frazionali) tra il sistema globale ed i suoi elementi individuali (9). Tali misure sono utili per confrontare diverse reti tra loro.

Lo studio della forma è affrontato introducendo il concetto di diametro (numero minimo di segmenti che collegano i due nodi più distanti).

Le misure relative all'accessibilità (10) e alla centralità (11) dei nodi evidenziano la gerarchia esistente all'interno di una stessa rete. È possibile individuare immediatamente i nodi portanti dell'intero sistema a rete e nel caso di ristrutturazione o progettazione di nuove linee identificare decisamente il ruolo che alcuni poli assumeranno grazie alle nuove connessioni attivate. È interessante notare le variazioni strutturali che si verificano sull'intera rete con l'introduzione di un nuovo arco e dei relativi vantaggi e svantaggi in termini di centralità che ne ricavano i nodi esistenti.

L'accessibilita' relativa di un nodo e' misurata come somma delle distanze minime tra quel nodo e tutti gli altri nodi presi ad uno ad uno (indice di accessibilita').

La struttura gerarchica e' determinata essenzialmente da tre misure che identificano la relativa posizione dei singoli elementi nella rete di trasporto. Queste sono:

- indice di accessibilita' Fornisce una approssimativa descrizione del grado di centralita' del nodo considerato e puo' quindi essere utilizzato per una sommaria valutazione della struttura gerarchica nella rete.

- grado locale: fornisce la connettivita' del nodo attraverso il numero di archi incidenti ad esso.

- grado locale composto: fornisce la connettivita' del nodo attraverso il numero degli archi incidenti ad esso ed il numero degli archi incidenti ai nodi in prima adiacenza.

Nel corso del lavoro sono stati elaborati appositamente altri tre indicatori.

Questi sono stati cosi denominati: gl2, indice di accessibilit... diretta e grado locale di servizio.

Il gl2, ovvero la sommatoria del grado locale semplice piu' quello dei nodi adiacenti, epurata dal valore degli archi caratterizzati da linee non transitanti sul nodo considerato, pur rappresentando ancora un carattere geometrico fornisce un'immediata lettura del servizio riscontrabile nel nodo. Infatti viene elaborato considerando esclusivamente solo le corse effettivamente transitanti dal primo e dal secondo arco dei nodi in prima adiacenza.

L'indice di accessibilit... diretta (12) rappresenta il numero di nodi direttamente raggiungibili dal nodo considerato senza rottura di carico. Questo indice e' di fondamentale importanza per l'analisi globale della rete e si puo' considerare la prima vera chiave di lettura gerarchica del sistema poiche' consente di evidenziare i collegamenti esistenti tra il nodo e tutta la rete di trasporto in esame.

Il grado locale di servizio fornisce la connettivita' del nodo in termini di servizio offerto, cioe' il numero di poli accessibili senza rottura di carico. Questo valore esclude sostanzialmente qualsiasi riferimento geometrico e rappresenta l'offerta di collegamento effettivamente esistente nel nodo. Questo indicatore, rapportato al precedente determina in modo inequivocabile il "peso" in termini di collegamenti diretti.

Il caso studio: caratteri dell'area

La rete di trasporto pubblico analizzata e' quella relativa all'area est di Milano. Lo studio ha evidenziato il sistema del trasporto pubblico esistente in un'area di 3031,35 chilometrici quadrati, per un totale di 253 comuni, nei territori delle sei provincie lombarde: Milano, Bergamo, Brescia, Cremona, Lodi e Pavia.

L'area e' estremamente eterogenea e in essa coesistono realta' insediative radicalmente diverse che ci permettono di distinguere due situazioni ben definite:

- la parte centrale e settentrionale urbanisticamente ben consolidata e fortemente popolata

- l'area meridionale scarsamente sviluppata e con bassa densita' abitativa.

Complessivamente nell'area a sud il disegno della maglia infrastrutturale risulta attestato radialmente su Milano e l'analisi dei flussi pendolari rivela la forte dipendenza esistente a livello di mobilita' tra i comuni e il capoluogo di regione: questa considerazione ha trovato conferma nell'analisi dei dati raccolti. Da questi si evidenzia come, a fronte di uno sviluppo demografico nei centri minori, non si sia verificato un parallelo aumento dell'offerta di lavoro e conseguentemente sia aumentata la dipendenza di detti centri in termini lavorativi con il capoluogo. La valutazione dei dati, oltre ad evidenziare questa caratteristica radiocentrica, ha permesso di constatare la diversa distribuzione dell'offerta di trasporto nell'area di studio. La parte settentrionale, pur dipendendo da Milano, risulta caratterizzata da un sistema di trasporto fortemente integrato che permette una costante relazione tra i poli minori; la parte centro-meridionale non presenta una struttura di relazioni

trasversali rispetto all'asse radiale principale e questo limita lo sviluppo di relazioni trasversali provocando conseguentemente una marcata dipendenza dell'intero sistema dal capoluogo.

Il caso studio: interpretazione e trattamento dei dati, strutturazione delle gerarchie, caratteristiche attuali dei poli, contraddizioni.

Sull'area così delineata si è costruito il grafo dei collegamenti relativi alle linee di trasporto pubblico sia su ferro che su gomma (vedi Figura 1). Sono stati evidenziati i percorsi delle centoventisette linee transitanti nell'area che attualmente sono gestite da trentacinque differenti aziende.

Sono stati identificati come nodi della rete tutti i punti in cui le varie linee di trasporto sostano o intersecano altre linee (intersecano e' il termine giusto poiché' tranne nel caso del comune di Lodi non è possibile utilizzare per gli altri comuni il termine di nodo di interscambio). La rete risulta così costituita da 380 nodi e 596 archi.

La costruzione del grafo consente di leggere geometricamente i possibili collegamenti tra i nodi e grazie all'uso della teoria dei grafi e degli algoritmi per la creazione della struttura gerarchica dei nodi stabilire quali sono quei poli che, al momento attuale, risultano essere i principali nodi di interscambio.

Sono state rilevate le frequenze delle differenti linee suddividendole tra frequenze per fasce giornaliere (mattutina, pomeridiana, serale) (13) e conseguentemente è stato possibile attribuire ad ogni arco un differente peso in relazione alla frequenza rilevata (14).

Data la complessità della rete e l'elevato numero di linee in essa transitanti abbiamo utilizzato la teoria dei grafi, di cui precedentemente abbiamo riportato i concetti generali, al fine di individuare le potenzialità dei nodi e proporre una nuova struttura di rete che si basi sui nodi di interscambio piuttosto che sulle linee di forza.

Infatti la tendenza ad assicurare il collegamento diretto sia su Milano sia sui poli più importanti, evidenziabile anche nei settori più periferici dell'area, ha generato una sovrapposizione di offerta sulle aste principali, sulle quali confluiscono numerose linee gestite da aziende diverse con tariffe non integrate. La stessa ATM pur descrivendo una vasta area concessionale convive con altre piccole aziende che completano la rete, assicurando i servizi locali e i collegamenti con i piccoli comuni decentrati rispetto all'asse di forza.

Attraverso l'analisi condotta si sono evidenziate immediatamente molteplici situazioni critiche relative a disfunzioni di varia natura e relative sia ai nodi sia agli archi. Queste si riscontrano soprattutto nella quasi assoluta assenza di nodi di interscambio (15) nella sovrapposizione delle linee (Paulllese, Via Emilia) (16), nella carenza di collegamenti trasversali agli assi radiali accentrati sui nodi più importanti (Milano, Lodi), nella mancanza di diversificazione nei collegamenti. Non esiste infatti una chiara strutturazione dell'offerta di servizio e l'utente si trova privo di qualsiasi possibile riferimento: attualmente infatti non è assolutamente possibile individuare una gerarchizzazione dei percorsi né tantomeno individuare le potenzialità offerte dal sistema di trasporto, così come risulta oggi strutturato (17).

Per l'elaborazione dei dati si sono utilizzati

- gli indicatori geometrici e di servizio "classici" direttamente derivati dalla teoria dei grafi
- altri indici elaborati nel corso dell'analisi per l'individuazione delle frequenze sulle linee.

La necessità di valutare la rete con differenti indici deriva dal fatto che in un'analisi del trasporto pubblico è di fondamentale importanza riuscire a valutare, oltre al numero di collegamenti esistenti, anche i dati relativi al servizio effettivamente offerto espresso in termini di frequenza oraria, capacità ed interscambio. Ogni indice rappresenta un determinato stato e solo la lettura comparata dei diversi valori fornisce un'immediata visione delle caratteristiche, delle peculiarità e delle potenzialità del sistema di trasporto nell'area.

Gli indicatori che abbiamo utilizzato sono il grado locale, il grado locale composto, il g_{l2} , l'indice di accessibilità diretta e il grado locale di

servizio. Questi ultimi tre sono stati elaborati per valutare effettivamente l'offerta dei servizi di trasporto effettivamente esistenti nell'area.

L'analisi del valore del grado locale per ogni nodo della rete allo stato attuale evidenzia i collegamenti in entrata o uscita e le potenzialità di alcuni nodi (figura GL stato di fatto). Questi infatti risultano ai primi posti per il numero di archi incidenti e potrebbero identificarsi, proprio per questa prerogativa, come importanti punti di interconnessione tra i percorsi delle linee; sono i nodi relativi ai comuni di Lodi, Melegnano, Casalpusterlengo, Crema, Codogno e S. Angelo Lodigiano. Sono tutti assestati lungo le linee ferroviarie (18) e, ad esclusione di Crema, sono localizzati lungo la via Emilia. Questa ultima osservazione ci induce a riflettere sulle potenzialità offerte dai nodi che giacciono su questa importante arteria già da questa prima analisi evidenziandosi come una linea forte per la creazione di nodi di interscambio.

L'analisi dei valori relativi al grado locale composto fornisce un'immagine esaustiva del grado di interrelazione del nodo con il contesto territoriale di appartenenza. Si è constatato come ai primi posti della graduatoria si trovino centri che pur avendo un grado locale non eccessivamente elevato hanno un valore di glc considerevole. Tale situazione deriva dalla loro adiacenza a comuni con elevato grado locale (figura 2 glc stato di fatto). Questo significa che, nell'ipotesi di un ridisegno della rete, questi nodi possiedono già ottime prerogative per candidarsi al ruolo di punti chiave del sistema.

Nell'analisi dei valori riportati per il GL2 si è notato come quasi tutte le considerazioni esplicitate per il grado locale possano essere fatte proprie anche da questo terzo indicatore. Ai primi posti di questo elenco si ritrovano infatti tutti i nodi localizzati lungo la via Emilia.

I risultati relativi all'indice di accessibilità diretta (vedi Tabella 1) evidenziano una sostanziale riclassificazione dei nodi emersi nelle precedenti graduatorie. Nodi con bassi valori di g.l. e g.l.c risultano essere invece gerarchicamente importanti in termini di accessibilità.

Una logica di questo tipo va sostanzialmente corretta, in quanto, l'alto indice di accessibilità rapportato ad un basso grado locale ha come conseguenza una sostanziale mancanza di offerta in termini di numero di collegamenti con il resto del territorio, riducendo quelle potenzialità favorite dalla localizzazione del nodo su tracciati principali.

In particolare si osserva come la maggior parte di essi si caratterizzi per la collocazione estremamente baricentrica rispetto a poche linee che tagliano trasversalmente l'area connettendo molteplici nodi della rete. Da questa analisi i comuni di Treviglio, Caravaggio, Zelo Buon Persico e Offanengo risultano essere, in termini di accessibilità, estremamente importanti. Questi poli, nell'ipotesi di un piano di ristrutturazione della rete, potrebbero assumere nuove importanti valenze territoriali.

Alti valori dell'indice di accessibilità, rapportati a bassi valori di grado locale inducono riflessioni relative alla localizzazione dei nodi lungo tracciati chilometricamente molto estesi che toccano un grande numero dei nodi dell'area in esame e alla sostanziale mancanza di offerta in termini di numero di collegamenti con il resto del territorio.

Dall'analisi dei risultati del grado locale di servizio si desume che esistono nell'area nodi caratterizzati da valori bassi di g.l. e i.a.d. ma con elevato grado locale di servizio, cioè territorialmente collocati alla periferia di centri più importanti da cui dipendono e attraverso i quali tutti i mezzi devono obbligatoriamente transitare per accedere a tutti gli altri nodi del sistema. Alcuni di questi non sono evidentemente collegati direttamente alle linee di forza della rete ma, grazie alla loro collocazione territoriale, risultano ben localizzati rispetto ai punti di forza della rete di servizio.

L'analisi comparata dei valori ottenuti nei cinque indicatori è stata ottenuta attraverso l'uso di una classificazione per livelli ottimali, ovvero considerando il numero di volte in cui un nodo è riuscito a classificarsi in buona posizione nelle elaborazioni effettuate sui cinque differenti indicatori (vedi tabella 14 e figura 256).

Tutti i nodi rilevati sono naturalmente adiacenti ad assi viari di primaria importanza suddivisibili in due distinte categorie: assi radiocentrici al capoluogo o assi tangenziali ad esso. Sebbene esistano le condizioni documentate da molti studi (19) per costruire un assetto policentrico del territorio milanese, nella realta' attuale solo le linee radiali rappresentano strutture forti in quanto gravitanti su Milano mentre le linee tangenziali sono relegate a svolgere funzioni locali. I nodi evidenziati da questo studio possiedono gia' in nuce le caratteristiche di poli del sistema e potrebbero assumere il ruolo di poli di interscambio in un progetto di ristrutturazione basato sulla gerarchizzazione delle linee e a sostegno di un assetto policentrico.

Il caso studio: il progetto di rete

Il progetto di rete (vedi Figura 2) e' scaturito direttamente dai risultati dell'analisi degli indicatori allo stato di fatto, rappresenta la sintesi del lavoro e rivaluta sostanzialmente il ruolo dei numerosi nodi evidenziati nel corso delle analisi. Questa metodologia ha permesso la realizzazione di una struttura principale (identificabile in figura poiche' tratteggiata) a cui sono state connesse nuove linee di trasporto che, nella logica del piano, hanno il compito di rappresentare un livello di collegamento secondario tra i principali nodi della rete in senso trasversale.

Se le osservazioni evidenziate dall'analisi degli indicatori della rete esistente sottolineavano l'assenza di un servizio equamente distribuito nell'area studio e la necessita' di potenziare o ridisegnare le linee di forza. Il risultato finale ha evidenziato la necessita' di identificare in alcuni poli principali un numero superiore di nodi di interscambio localizzandoli lungo gli assi tangenziali presenti nei comuni (vedi Figura 3).

Il nuovo grafo, relativo all'introduzione dei nuovi archi di progetto, e' stato sottoposto a tutte le analisi precedentemente condotte per lo stato di fatto. I valori riscontrati per tutti gli indicatori nella rete di progetto denotano il raggiungimento di un sostanziale riequilibrio del servizio nel territorio ottenuto realizzando i nuovi collegamenti perpendicolari alle radiali su Milano transitando dai poli di interscambio, nuovi punti chiave della rete.

I risultati sono caratterizzati dunque da una maggiore omogeneita' di valori che ha indotto

- l'abbassamento del g.l. per i nodi piu' importanti (ottenuta tramite l'eliminazione della sovrapposizione delle tratte per numerose linee) (vedi Tabella 1 e 2 e Figure 4, 5, 6 e 7)
- il sostanziale aumento dei valori degli altri indicatori tra cui l'indice di accessibilita' che sottolinea il raggiunto equilibrio della rete dei trasporti in termini di diffusione del servizio.
- la conseguita polarizzazione del territorio attraverso la creazione di collegamenti trasversali attestati sui nodi di interscambio tra linee di differente livello.

La nuova funzione del nodo pone la necessita' di rivalutare attentamente la progettazione dei nodi di interscambio. Questi infatti oltre ad essere i luoghi di raccolta e smistamento dei grandi flussi di passeggeri provenienti da aree differenti rappresentano i punti della rete in cui si integrano le diverse modalita' di trasporto dove sara' possibile promuovere la nascita di nuove centralita' urbane. Le linee proposte sono caratterizzate da una buona frequenza, da una limitata lunghezza del percorso e dalla necessita' di connettersi con i nodi principali della rete e hanno la specificita' di collegare su una stessa linea nodi gerarchicamente diversi.

Conclusioni

La metodologia seguita nel corso del lavoro si e' basata essenzialmente su tre fondamentali concetti ispiratori:

- la nuova lettura degli indicatori classici della teoria dei grafi che risultano integrati da informazioni relative al servizio realmente offerto (frequenza, portata). Questa metodologia ha permesso di identificare all'interno della vastissima rete considerata, composta da 380 nodi, quei pochi in grado di

assumere una nuova valenza territoriale e in grado di essere identificati come veri e propri poli del sistema di trasporto e punti chiave dell'intermodalità e dell'interscambio.

L'analisi comparata dei risultati relativi ai nodi nelle varie prove si è basata su una classificazione che non trascurasse gli aspetti relativi al servizio della rete a vantaggio della migliore o peggiore collocazione geografica dei nodi considerati.

Questa metodologia ha consentito l'identificazione di quei tracciati che potrebbero assumere il ruolo di linee forti del sistema a rete basato appunto sui luoghi dell'interscambio e sulla gerarchizzazione del servizio. Attualmente solo le linee di forza radiali rappresentano gli assi portanti della nostra rete. La proposta è quella di rivalutare il ruolo dei numerosi nodi evidenziati nel corso delle analisi per progettare percorsi di autobus tangenziali al capoluogo milanese e in grado di strutturare a rete l'intero territorio.

Attraverso le analisi condotte è emersa l'importanza dei luoghi dell'interscambio su cui deve rifondarsi il sistema del trasporto pubblico. In sede progettuale la loro ubicazione è fonte di rilevanti dibattiti. La domanda che si pone è relativa alla collocazione interna/esterna all'area comunale dei nodi. Infatti è noto come la collocazione di un polo di interscambio accresca la rendita fondiaria o urbana e incentivi la strutturazione di numerosi servizi, dalla semplice rivendita di giornali alla creazione di centri commerciali di una certa rilevanza. Ogni polo di interscambio dovrebbe garantire, oltre all'agevole trasbordo da un sistema di servizio di trasporto ad un altro, o tra differenti linee di autobus, adeguati servizi all'utenza. La definizione e il miglioramento delle condizioni di trasbordo sono la premessa indispensabile per una razionale riprogettazione delle reti di trasporto pubblico.

NOTE

1 Questo lavoro e' stato sviluppato all'interno della tesi di laurea di R.Metti e G.Santambrogio, Trasporto pubblico su gomma nell'area est di Milano. Un metodo per la riorganizzazione dell'assetto e un nuovo progetto territoriale, Dipartimento di Scienze del Territorio, Marzo 1994

2 Una rete e' una particolare rappresentazione di determinate relazioni tra le sue parti.

Essa e' formata da nodi e collegamenti (archi): questi ultimi rappresentano appunto le relazioni tra i nodi. Le reti si possono suddividere in concrete e astratte. Qualunque canale fisico attraverso il quale fluiscano beni, persone, messaggi, costituisce una rete concreta. Una rete astratta e' invece un'organizzazione reticolare di nodi/entita' fra le quali sono appurate generiche relazioni.

L'esempio piu' significativo di rete concreta e' costituito dalla rete di trasporto che si sviluppa generalmente in risposta ad una determinata domanda di movimento tra una molteplicita' di localita': movimenti pendolari, di turisti, di merci...

Quindi il disegno di una rete di comunicazione e' preceduto dalla identificazione delle localita' di origine e destinazione del movimento e dalla valutazione della domanda.

Alle reti possono essere associate diverse caratteristiche:

- connettivita'
- struttura gerarchica
- centralita'
- accessibilita'

3 Lo studio francese che ha attuato quanto proposto nella stesura dello S.D.O. e' denominato progetto Autrement Bus.

Autrement bus si attua attraverso le classiche fasi di raccolta e analisi dei dati, elaborazione e valutazione delle soluzioni, ma cio' che appare piu' significativo e' la ricerca di indici di connettivita' e di nodalita' che facilitino la ridefinizione della rete dei trasporti.

Gli indici si basano principalmente sulla teoria dei grafi,

Gli indici di connettivita' evidenziano i collegamenti diretti e indiretti tra i poli.

Si identifica con n il numero dei poli del grafo collegati e con k il numero degli archi interpolari collegati: si possono cosi' definire indici di connettivita' morfologica

indice a = $(a \cdot (k - n + 1)) / ((n - 1) \cdot (n - 2))$

rappresenta il numero dei cicli indipendenti realizzabili nella rete in rapporto al massimo numero dei cicli che offrirebbe una rete avente lo stesso numero di poli collegati a due a due

indice y = $2 \cdot k / (n \cdot (n - 1))$

rappresenta il massimo numero di legami diretti interpolari nella rete, in rapporto al numero massimale di legami diretti interpolari realizzati in una rete teorica ideale

Gli indici di nodalita' evidenziati dallo studio francese sono sostanzialmente, seppure vengano denominati in modo differente:

- il grado locale, numero dei legami diretti partendo dai poli selezionati
- il grado locale di servizio, cioe' il numero di poli accessibili senza rottura di carico
- Grado locale composto, (NC, nodalita'-corrispondenza), indica il numero di poli accessibili che ammettano una sola rottura di carico
- NF, numero di passaggi autobus in un'ora autobus in un'ora transitanti per il polo selezionato
- NR, numero di linee radiali, attestate cioe' sul polo parigino, transitanti per il nodo selezionato
- NP, numero di linee di connessione con le aree periferiche che transitano per il polo selezionato

4 Si veda a questo proposito l'esemplificazione della rete del trasporto urbano di Lione in L.Clement, A.Dekokere, B. Faivre D'Arcier, " Resaux intermediaires de transports publics urbains: innovation technologique ou nouveau concept organisationnel ?", in Recherche Transports Securite n.42 / marzo 1994

5 Anche in Italia le ipotesi contenute nella direttiva del Cipet per la riorganizzazione del trasporto pubblico, relativo alle "Norme sulla nuova disciplina del trasporto pubblico locale" vogliono dare una prioritaria assoluta ai provvedimenti tesi a migliorare la qualita' degli spostamenti con il mezzo collettivo e regolare contestualmente la circolazione privata e la sosta.

6 I grafi possono essere definiti come semplici figure geometriche costituite da punti e da linee che congiungono tra loro alcuni di questi punti. In altri termini si puo' spiegare un grafo facendo riferimento alla teoria degli insiemi: infatti dato un insieme A si possono esplicitare le relazioni tra due elementi di A con una linea. I punti che indicano gli elementi di un grafo sono detti "vertici" (nel caso di un grafo non orientato, cioe' quando non si conosce il senso della relazione) o "nodi" (nel caso di un grafo orientato). Le linee raffiguranti le relazioni tra i diversi punti di un grafo sono dette "spigoli" (nel caso di un grafo non orientato) o "archi" (nel caso di un grafo orientato). Dicesi grafo $G(N,A)$ un ente composto da un insieme N di nodi e un insieme A di archi. Per una immediata comprensione riportiamo le piu' semplici definizioni associate ai nodi

- per ogni nodo e' possibile quantificare il grado locale entrante e il grado locale uscente
- due nodi si dicono adiacenti qualora siano collegati da un arco
- se i nodi iniziali e terminali di un cammino coincidono avremo un circuito
- si dice raggio la minima distanza riscontrabile nel grafo da ogni nodo a tutti gli altri
- si dice connesso un grafo in cui vi sia sempre un cammino tra due nodi qualsiasi
e quelle associate agli archi
- un arco e' incidente ad un nodo quando tale nodo figura come suo estremo terminale o iniziale
- se tutti gli archi di un grafo possiedono il medesimo grado locale r il grafo si dira' regolare di grado r
- si dice cammino una successione di archi tale per cui il nodo iniziale di i risulti il nodo terminale di $i-1$ ed il nodo terminale di i risulti il nodo iniziale di $i+1$
- il numero r degli archi di un cammino si dice lunghezza del cammino
- si dice diametro del grafo la massima distanza presente da ogni nodo a tutti gli altri presi separatamente
- si dice planare un grafo disegnabile in un piano senza che gli archi si incontrino in punti diversi dai nodi.

7 Molti studiosi e scienziati sociali hanno studiato le relazioni spaziali tra le caratteristiche elementari dei sistemi di trasporto.

Lalanne ha analizzato la densita' ed il reticolo delle reti ferroviarie francesi. Egli ha osservato lo sviluppo regolare della rete ferroviaria e su questa suggerisce una relazione gerarchica tra la rete e la divisione politica della Francia.

La teoria del punto centrale di Christaller include leggi ed associazioni tra i reticoli dei trasporti e le localizzazioni delle aree urbane.

Concetti simili sono presenti anche negli studi di Losch, in cui, anche se la gerarchizzazione delle reti identificata da Christaller perde parte del suo significato, la qualificazione degli elementi fa apparire questi ultimi piu' aderenti a rappresentazioni reali.

Studi piu' recenti hanno anche considerato il reticolo spaziale delle reti di trasporto da un punto di vista grafico teorico. Garrison e Marley, per esempio, hanno evidenziato una classe di misure basate su concetti della teoria dei

grafi. Nystuen e Dacey hanno analizzato le relazioni funzionali tra posti centrali basati sull'importanza della comunicazione in una rete con l'ausilio della teoria dei grafi. Anche Garrison e Burton hanno applicato la teoria delle misure nella teoria dei grafi sulla rete delle autostrade regionali.

8 Per esprimere il concetto di connettività di una rete si deve confrontare il numero di cammini diretti con il numero di cammini indiretti

Si può quindi affermare che: maggiore sarà il numero dei cammini diretti da ciascun nodo a tutti gli altri maggiore sarà la connessione di una rete.

Il tipico aspetto geometrico delle reti connesse è quello cosiddetto "a circuito", in cui il numero degli archi è uguale o maggiore del numero dei nodi.

Le reti invece meno connesse tendono ad essere rappresentate da strutture definite "ad albero", dove esistono percorsi univoci tra coppie di nodi.

Una volta definita la connettività di una rete nel suo complesso, si può definire la connettività di un nodo, intendendo con questo la molteplicità dei suoi legami con essa (un nodo nel quale confluiscono molti archi è certamente molto connesso).

Nelle reti non completamente connesse si verificano variazioni di connettività da un nodo all'altro.

Il concetto di connettività è essenziale ai fini della definizione dell'accessibilità di un nodo, o di una rete considerata come unità.

9 Solo due misure derivanti dalla teoria dei grafi, il numero cicломatico ed il diametro delle reti, sono misure non frazionarie.

10 L'accessibilità ad una località contiene in sé due importanti nozioni:

- la possibilità di raggiungerla materialmente (che costituisce la componente relativa alla connessione della rete)

- la possibilità di raggiungerla nel modo più veloce ed economico (che costituisce la componente relativa al costo).

Dal punto di vista generale l'accessibilità tra due località è inversamente proporzionale al costo dello spostamento, intendendo con esso un fattore associato al collegamento spaziale o aspatiale tra le due località, che misura l'attrito da superare per vincere la resistenza su quel collegamento (nei modelli matematici viene denominato "fattore di impedenza").

Si possono calcolare due tipi di indici di accessibilità: uno a carattere locale che misura l'accessibilità di ogni nodo alla rete nel suo complesso e un altro relativo alla massima accessibilità globale della rete. È importante rilevare l'influenza territoriale dei sistemi di accessibilità.

Infatti se si considera una attività localizzata in un determinato punto e si suppone di aver determinato la zona di influenza in relazione all'efficienza del sistema infrastrutturale e alla potenzialità produttiva si nota che, se questa viene collegata al sistema delle funzioni urbane insediate nel centro con mezzi di trasporto più efficienti si ha una deformazione della sua zona di influenza. Poiché un aumento della zona di influenza significa un guadagno di nuove quote di popolazione, si deduce che questa localizzazione assume allora una produttività intrinseca più elevata, in quanto senza aumentare i costi di produzione, allarga la sua area di mercato in rapporto alle altre attrezzature concorrenti, conseguendo in definitiva delle economie esterne.

Si può quindi affermare che:

- l'impianto di una nuova infrastruttura non influisce solo sull'utente e sulle modalità d'uso di essa (eventuali benefici dovuti ai diminuiti costi o tempi di percorrenza), ma anche sulla dimensione di alcuni fenomeni legati al capitale (per esempio: rendita fondiaria)

- gli aumenti dei valori fondiari, laddove l'accessibilità è massima, favoriscono l'insediamento delle funzioni con maggiori potenziali di domanda e quindi a maggior produttività, allontanando le funzioni meno produttive (principalmente la residenza).

La presenza di attività di tipo terziario nei centri ne è un classico esempio.

- lo spostamento delle funzioni verso i margini del tessuto urbano contemporaneamente all'insediarsi di attività a forte domanda di accesso nelle aree centrali, determina un aumento della domanda complessiva di trasporto.

C'è da tenere presente però che investimenti infrastrutturali in zone dove la struttura produttiva (sia per numero, dimensione, tipo di attività) è tale da non poter conseguire economie esterne non producono benefici apprezzabili. In generale l'aumento dell'efficienza di un sistema infrastrutturale deve essere inteso anche come espansione della mobilità della popolazione dovuta alla diffusione del mezzo individuale: con una maggior concentrazione delle attività (quindi guadagno di economie esterne e di scala) e non deve essere inteso solo come aumento del suo livello di servizio, cioè riduzione dei tempi e dei costi. Quindi si dovrebbero programmare interventi infrastrutturali capaci di mantenere o raggiungere adeguati tassi di sviluppo economico e dall'altra capaci di equilibrare densità di infrastrutture per ridurre la congestione e aumentare la produttività dell'area nella quale si colloca l'intervento stesso.

11- Il livello di centralità di un nodo è proporzionale al suo grado di connettività, cioè al numero di archi incidenti al nodo stesso.

12 L'indice di accessibilità derivato dalla teoria dei grafi è relativo alla distanza necessaria per ricoprire tutti i cammini minimi dal nodo considerato a tutti gli altri, calcolando la distanza in numero di archi. Vedi a questo proposito V.M.Curti, P.Demaestri, L.Marescotti, A.Moretti, "Considerazioni sull'uso di indicatori geometrici nell'analisi delle reti di trasporti", DST MR 08, Clup, Milano 1988

13 Sono state considerate le fasce giornaliere relative alle ore di punta e di morbida del servizio.

14 Poiché sono stati inseriti i nodi relativi all'attestazione delle fermate delle linee metropolitane milanesi si è riscontrata una notevole disparità nei valori degli archi caratterizzati dalla presenza delle linee su ferro.

15 Infatti solo 27 nodi su 386 possono essere considerati nodi di interscambio e tutti sono relativi ad un interscambio tra ferro e autolinee.

16 La Paullese, ovvero l'asse della Milano - Crema, a causa dell'elevata frequenza dei collegamenti, è caratterizzata dalla presenza di numerose linee che la configurano come una linea di forza. Questo tipo di collegamento, sebbene avvenga su gomma e', seppur con prestazioni decisamente minori, molto simile, al tipo di servizio offerto da una linea su ferro. Infatti connette tra loro solo i comuni attraversati in asse dall'infrastruttura. La Statale Paullese infatti presenta la totale mancanza di linee di trasporto pubblico perpendicolari al suo tracciato che possano creare valide alternative all'uso del mezzo privato. La via Emilia, rappresenta il caso limite nell'area considerata. È sicuramente una linea di forza per quanto riguarda il trasporto pubblico ma rivela la totale mancanza di coordinamento tra le aziende che gestiscono le concessioni. In questo caso infatti si riscontra il transito di ben quindici differenti aziende che gestiscono le linee su gomma, differenziate per quanto riguarda tariffe e fermate ma del tutto coincidenti per ciò che attiene il tracciato complessivo (Milano, S.Donato Milanese, S.Giuliano Milanese, Melegnano, Salergerano sul Lambro, Tavazzano con Villavesco, Lodi). La presenza delle quindici linee non genera come sarebbe logico ipotizzare un'ottima offerta di servizio agli utenti: tre linee, con fermata nella stessa via, sostano infatti in tre luoghi differenti. Non esiste nessuna razionalizzazione nella scelta delle fermate e questo comporta sia dei costi per la comunità che non può avvalersi di un nodo di interscambio vero e proprio in grado di incentivare la strutturazione di altri servizi in prossimità del nodo, sia un aggravio dei costi di gestione per l'ente pubblico.

17 La Regione Lombardia fornisce all'utenza solo un libretto orario dell'area richiesta e la rappresentazione delle linee di trasporto raggiunge un tale grado di schematizzazione da essere comprensibile solo agli addetti ai lavori.

18 Questo perché attualmente numerose linee, pur non essendo del tutto assestate sull'infrastruttura su ferro, effettuano fermate nelle stazioni.

19 Si veda a questo proposito A.Moretti, Le linee e i nodi del trasporto pubblico come struttura del milanese, da area metropolitana a rete di citta', in Territorio, n.10 , Dicembre 1991

Bibliografia

- G.Amar, A.Peny, N.Stathopoulos, *Formes et fonction des Points de Reseau*, RATP, Paris, Octobre 1991
- L.Clement, A.Dekokere, B. Faivre D'Arcier, " Resaux intemediaires de transports publics urbains: innovation technologique ou nouveau concept organisationnel ?", in *Recherche Transports Securite'*, n.42/marzo 1994
- V.M. Curti, P. Demaestri, L. Marescotti, A. Moretti, *Metodi di applicazione di teoria dei grafi e di ricerca operativa negli studi di reti di trasporti*, in *Atti del Convegno Trasporti e Territorio del 21-22 marzo 1985*
- V.M.Curti, P.Demaestri, L.Marescotti, A.Moretti, *Considerazioni sull'uso di indicatori geometrici nell'analisi delle reti di trasporti*, DST MR 08, Clup, Milano 1988
- P. Demaestri, *I problemi del traffico: alcuni metodi di ricerca operativa per l'ottimizzazione delle reti di trasporto*, Politecnico di Milano, Tesi di Laurea aa. 1984-85
- G. Dematteis, *Controurbanizzazione e strutture urbane reticolari*, in G. Bianchi, I. Magnani (a cura di), *Sviluppo multiregionale: teorie, metodi, problemi*, F.Angeli, Milano, 1985
- P. Haggett, A.D. Cliff, *Locational Analysis in Human Geography*, E. Arnol Ltd, Lond, 1977
- P. Haggett, R.J. Chorley, *Network Analysis in Geography*, E. Arnold Ltd, London, 1974
- K.J. Kansky, *Structure of transport Networks: Relation ship between Network Geometry and Regional Characteristics*, Department of Geography, Chicago, 1963
- R.Metti, G.Santambrogio, *Trasporto pubblico su gomma nell'area est di Milano. Un metodo per la riorganizzazione dell'assetto e un nuovo progetto territoriale*, DST, Tesi di Laurea, Marzo 1994
- A. Moretti, *Effetti di infrastrutture di trasporto in aree urbanizzate*, in *Trasformazioni territoriali e infrastrutture di trasporto. Alcuni casi nell'area milanese*, DST 10, Clup, Milano, settembre 1986
- A. Moretti, A. Reggiani, *Sperimentazioni e analisi comparate riferite alla misura della accessibilita'*, Materiali di ricerca del DST, Clup, 1986
- A.Moretti, P.Demaestri, P.Villani, *Metodologie per l'interpretazione spaziale: l'analisi come superamento dei tradizionali criteri di aggregazione per polarizzazione ed omogeneita'*. Un'applicazione all'area nord-est di Milano, in - *Sistemi spaziali approcci e metodologie-* a cura di M.Bielli e A.Reggiani, Scienze Regionali n.15, Franco Angeli, Milano, 1989
- A.Moretti, *Le linee e i nodi del trasporto pubblico come struttura del milanese, da area metropolitana a rete di citta'*, in *Territorio*, n.10 , Dicembre 1991
- L. Muracchini, *Introduzione alla teoria dei grafi*, Boringhieri, Torino, 1967
- J-M. Offner, A.Sander, *Le points-cles d'autrement bus des theories a la pratique*, Ratp, Paris, Septembre 1990
- O. Ore, *I grafi e le loro applicazioni*, Zanichelli, Bologna, 1983

A.Spagnolo,P.Villani, Metodologie di analisi territoriale: teorie, casi studio, sperimentazioni. Una applicazione all'area nord-est". DST, Tesi di Laurea, Ottobre 1987

N.Stathopoulos, J.Girard, Pour une conception territoriale des reseaux: modeles conceptuels, aspects strategique et outils d'aide a la decision, Universite' de Paris IX Dauphine, 1990

A. Ventre, Introduzione ai grafi planari, Zanichelli, Bologna, 1983