

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

TRASPORTI E TERRITORIO
IL RUOLO DELL'ACCESSIBILITÀ NELLA
PIANIFICAZIONE INTEGRATA

Tesi di Dottorato di ricerca in
Analisi, Pianificazione e Gestione Integrate del Territorio

Dottoranda:
Elena Rubulotta
CICLO XXII

Coordinatore:
Prof. Ing. Francesco Martinico

Tutor:
Prof. Ing. Matteo Ignaccolo

ad EmAntonio

INDICE

Introduzione.....	11
Capitolo 1	15
INTERAZIONE TRASPORTI - TERRITORIO	15
1. I trasporti ed il territorio	15
1.1. Approccio teorico all'interazione trasporti-territorio.....	18
1.2. Approccio empirico all'interazione trasporti-territorio	22
1.3. Città e mobilità	25
1.4. Il sistema integrato trasporti- territorio a scala urbana.....	29
2. L'evoluzione delle aree urbane.....	32
3. Il ruolo della pianificazione	35
3.1. Aspetti normativi	38
3.2. Esempi stranieri	41
Capitolo 2	51
MODELLI DI INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO	51
1. Caratteristiche ed utilità dei modelli di interazione trasporti-territorio	51
2. Classificazione dei modelli di interazione trasporti-territorio	56
2.1. Static models	60
2.2. Entropy-based models	61
2.3. Spatial-economic models	61
2.4. Activity models	63
2.5. Valutazione dei modelli	66
3. Approcci alla base dei modelli di interazione trasporti-territorio	68

3.1. L'approccio IL (interaction-location).....	68
3.2. L'approccio LI (location-interaction).....	69
3.3. Confronto tra gli approcci.....	69
3.4. Criteri per la scelta del modello da utilizzare	70
4. Valutazione di politiche e strategie mediante modelli trasporti-territorio	71
4.1. Valutazione delle politiche di trasporto	72
4.2. Valutazione delle politiche territoriali e di quelle integrate trasporti-territorio	73
5. Criticità dei modelli di interazione trasporti-territorio	74
5.1. Introdurre principi di comportamento spaziale.....	75
5.2. Sviluppare modelli comportamentali e specifici di contesto	76
5.3. Sviluppare modelli realmente integrati	77
5.4. Modellare la pianificazione territoriale	78
5.5. Considerazioni conclusive.....	78
6. Modelli di interazione trasporti-territorio e accessibilità.....	79
Capitolo 3	81
L'ACCESSIBILITÀ	81
1. Mobilità e accessibilità.....	81
2. Il concetto di accessibilità.....	86
2.1. Accessibilità e dipendenza dall'auto	89
2.2. Accessibilità e accesso	90
3. Componenti dell'accessibilità	92
4. Principali <i>perspective</i> per la misura dell'accessibilità.....	94
5. Rassegna delle principali misure di accessibilità	96
5.1. Travel-Cost Approach: Infrastructure-based measures.....	96
5.2. Gravity or Opportunities Approach: Location-based measures ...	97
5.3. Constraint-Based Approach: Person-based measures.....	98
5.4. Utility -Based Surplus Approach: Utility-based measures.....	100
5.5. Composite Approach.....	101
5.6. Valutazione delle principali misure di accessibilità.....	101
6. Una nuova misura di accessibilità	104
6.1. Il PageRank	104
6.2. Il Place Rank.....	105
6.3. Il Place Rank: analisi critica.....	106
6.4. Un nuovo indice di accessibilità: Place&Time Rank	108

7. Accessibilità e centralità	109
7.1. Network complessi e centralità.....	109
7.2. Forma urbana e centralità	112
7.3. Indici di centralità	113
7.4. Analisi di centralità	119
7.5. Analisi di centralità e analisi di accessibilità	123
Capitolo 4	125
IL CASO DELLA PROVINCIA DI SIRACUSA	125
1. La scelta del caso studio	125
2. La provincia di Siracusa	126
3. L'attuale pianificazione della Provincia di Siracusa.....	131
3.1. Le infrastrutture della mobilità e dei trasporti: situazione attuale	136
3.2. Analisi della situazione attuale	151
3.3. Obiettivi ed azioni.....	151
Capitolo 5	154
ANALISI DELLA PROVINCIA DI SIRACUSA.....	154
1. Premessa.....	154
2. Analisi di accessibilità della provincia di Siracusa: stato di fatto	155
2.1. Potential accessibility measure	156
2.2. Place Rank	160
2.3. Place&Time Rank	162
3. Analisi delle centralità della provincia di Siracusa: stato di fatto	164
3.1. Degree centrality.....	166
3.2. Closeness centrality	168
3.3. Betweenness centrality	171
4. Confronto tra le metodologie utilizzate	174
5. Analisi dei risultati	177
5.1. Indicazione delle criticità	180
5.2. Coerenza tra i risultati dell'analisi e le azioni del PTP.....	183
6. La pianificazione dei trasporti della Provincia di Siracusa.....	184
6.1. Obiettivi ed azioni condivise per un nuovo assetto della mobilità	185
6.2. Strategie prioritarie di intervento e criticità	187
6.3. Azioni di Piano relative al trasporto privato.....	188
7. Simulazione dello scenario di progetto	195

8. Confronto tra gli scenari	203
Conclusioni	205
Elenco delle figure	210
Elenco delle tabelle.....	213
Bibliografia.....	215

Introduzione

Trasporti e territorio, spesso considerati rigidamente disgiunti, soprattutto nell'ambito della pianificazione, sono in realtà strettamente connessi; infatti la localizzazione delle varie tipologie di attività determina la domanda di mobilità di persone e merci mentre l'offerta di trasporto condiziona le scelte localizzative e quindi il sistema delle attività.

Pertanto è chiaro che pianificazione territoriale e dei trasporti dovrebbero essere maggiormente correlate, al fine di garantire un adeguato e sostenibile sviluppo del territorio. In realtà è compito della pianificazione restituire compattezza e densità alle relazioni funzionali e al territorio, ma ciò può realizzarsi soltanto integrando e coordinando politiche trasportistiche e di land-use. Si parla infatti di pianificazione *integrata* trasporti-territorio, che operi per obiettivi e non per aree di competenza, al fine di frenare la dispersione territoriale ed incentivare la formazione di sistemi multicentrici con nuclei urbani equilibrati dove sia possibile garantire una buona accessibilità e salvaguardare l'ambiente.

Questa ricerca nasce dalla volontà di indagare le dinamiche connesse alla relazione tra il sistema territoriale e quello dei trasporti, legame tanto evidente quanto complesso a causa dei numerosi elementi coinvolti e delle relazioni tra essi.

L'obiettivo di questa tesi è quindi di analizzare l'interazione trasporti-territorio, sia da un punto di vista concettuale che metodologico. Nel dettaglio particolare rilievo verrà dato alla nozione di *accessibilità*, interessante sia per l'approccio teorico alla sua definizione che applicativo nella pratica della pianificazione, ma soprattutto come criterio su cui fondare una corretta integrazione tra le politiche di trasporto ed uso del territorio. In effetti l'approccio convenzionale alla pianificazione dei trasporti prevede come obiettivo precipuo la garanzia della *mobilità*, e di conseguenza la velocizzazione dei flussi veicolari e la minimizzazione del tempo di spostamento. Al contrario l'approccio alternativo

che si presenta in questa sede mira, nell'ambito della pianificazione integrata trasporti-territorio, a favorire l'accessibilità piuttosto che la mobilità.

Inoltre questo lavoro esamina le numerose misure di accessibilità e prova a superare i limiti di una nuova metodologia formulata, testando la validità di diversi metodi sul caso studio opportunamente scelto.

Si indagherà inoltre il legame tra accessibilità e *centralità*, concetto che nasce nell'ambito delle scienze sociali ma che è stato poi ampiamente applicato in vari settori tra cui la *network analysis*, come proprietà degli elementi di una rete, e più nello specifico per caratterizzare i nodi di una rete di trasporto.

Per far ciò lo studio è articolato come segue.

Il primo Capitolo indaga l'interazione trasporti-territorio, analizzando le relazioni che intercorrono tra il sistema della mobilità e le caratteristiche di uso del suolo, il rapporto tra città e mobilità, riassumendo l'evoluzione delle aree urbane e dei sistemi di trasporto nel corso della storia fino al fenomeno dello *sprawl* metropolitano e delle problematiche ad esso connesse. Si focalizza poi sul ruolo e l'importanza della pianificazione, in particolare di quella integrata, riportando i principali aspetti normativi della pianificazione dei trasporti e delle sue possibili connessioni con quella territoriale. Si riportano infine alcuni esempi stranieri di integrazione tra politiche dei trasporti e politiche territoriali, volte alla moderazione del traffico ed alla sostenibilità.

Nel secondo Capitolo vengono discussi gli strumenti modellistici correntemente utilizzati a supporto delle scelte di pianificazione, evidenziando la loro evoluzione nel tempo e la varietà di metodi disponibili, rilevando le principali criticità; si propone quindi un approccio alternativo/complementare ai modelli di simulazione trasporti-territorio, peraltro più semplice e molto meno accurato, basato sulla misura dell'accessibilità intesa come elemento di connessione tra il sistema dei trasporti e quello del land-use e perciò utile ai fini della descrizione delle performance urbane.

Il terzo Capitolo riguarda appunto l'accessibilità, il suo rapporto con la mobilità, le sue numerose definizioni, la descrizione delle sue componenti e dei principali punti di vista per la sua misura; viene quindi effettuata una rassegna delle misure di accessibilità presenti in letteratura nonché una loro valutazione sulla base di criteri oggettivi. Si riporta poi la descrizione di una nuova misura, il Place Rank, proposta da due ricercatori dell'Università del Minnesota; questa formulazione ha suscitato nell'ambito della presente ricerca alcune

considerazioni critiche che vengono espone e che hanno aperto prospettive per il miglioramento di tale indice. Al fine di cercare di superare i limiti discussi viene infatti definita una nuova misura di accessibilità, denominata Place&Time Rank, ottenuta apportando alcune modifiche migliorative alla formulazione originale.

Si espone poi un altro approccio, basato sul concetto di centralità, interessante soprattutto come fattore da valutare nella scelta delle localizzazioni di attività a partire da un sistema di trasporto già esistente e comunque definito.

Nel quarto Capitolo si espone il caso di studio, la provincia di Siracusa, particolarmente interessante poiché la recente redazione dello Schema di Massima del Piano Territoriale Provinciale ha fortemente ed attivamente interessato il settore dei trasporti, pertanto particolare attenzione verrà prestata agli aspetti legati alla mobilità nell'area considerata. Dunque verranno esposti brevemente i contenuti della pianificazione della Provincia di Siracusa, approfondendo poi quelli relativi alle infrastrutture della mobilità e dei trasporti per i quali sarà dettagliata la situazione attuale (con tutte le fasi principali di uno studio di mobilità, i dati necessari al suo svolgimento, nonché le relative elaborazioni). Dall'analisi della situazione attuale emergono poi gli obiettivi e le azioni previste dal piano.

Segue il quinto Capitolo, nel quale si espone l'analisi di accessibilità dell'area di studio, condotta utilizzando tre diverse tipologie di indicatori di accessibilità: una misura di tipo *location-based*, anche detta *potential accessibility measure*, ampiamente diffusa in letteratura, il Place Rank ed il Place&Time Rank definito nell'ambito del presente studio, nonché tre misure di centralità (*degree*, *closeness* e *betweenness*).

In particolare sono stati determinati i valori attuali di accessibilità e centralità delle varie zone della provincia di Siracusa, calcolati con le diverse metodologie, facendo riferimento al trasporto con il mezzo privato, e sono state realizzate le relative mappe. Si è quindi effettuato il confronto tra le metodologie utilizzate e poi è stata condotta l'analisi dei risultati, volta a focalizzare l'attenzione sulle caratterizzazioni di ogni zona in base ai risultati ottenuti. Sulla base di questi si è effettuato un confronto tra le criticità emerse nell'ambito delle elaborazioni compiute con le azioni previste nell'ambito del Piano, così da valutarne la coerenza.

Poi si è analizzato il successivo Piano di settore dei trasporti e della viabilità, dal quale si sono tratte le azioni previste sul sistema viario e che interessano quindi il trasporto con il mezzo privato. Simulando la realizzazione di tali interventi si è nuovamente condotta l'analisi di accessibilità così come quella di centralità, con riferimento allo stato di progetto. Confrontando i due scenari si è determinata da una parte l'utilità delle misure utilizzate, poiché non tutte sono sensibili alle modifiche dei tempi di percorrenza, e dall'altra si è verificato come gli indici valutano i cambiamenti indotti dagli interventi pianificati.

Infine nelle Conclusioni si esamina il lavoro svolto, evidenziando in particolare gli elementi di utilità delle misure di accessibilità e centralità così come delle rispettive analisi, ed alcune considerazioni sul loro utilizzo nell'ambito della pianificazione integrata dei trasporti e del territorio.

Capitolo 1

INTERAZIONE TRASPORTI - TERRITORIO

1. I trasporti ed il territorio

Lo spostarsi è uno dei momenti fondamentali della vita quotidiana dell'uomo e, nonostante ciò, i trasporti costituiscono uno dei problemi più rilevanti del nostro tempo. La strada, in effetti, è un elemento base della città, non solo come parte del sistema dei trasporti, ma anche come componente essenziale della vita culturale, politica, sociale e fisica degli abitanti. La coesistenza tra le principali funzioni della strada (di movimento, di accesso, ambientale e sociale) è andata in crisi a causa dell'intrusione dei veicoli a motore nei centri urbani¹.

Com'è facilmente intuibile, il sistema dei trasporti è strettamente collegato all'uso del territorio la configurazione delle attività determina la domanda di mobilità; d'altra parte però l'offerta di trasporto condiziona le scelte localizzative e quindi il sistema delle attività. Tale relazione, anche se evidente, è tutt'altro che di facile comprensione a causa della complessità degli elementi che ne fanno parte.

Il *land-use* può definirsi come "l'insieme che comprende le attività condotte dall'uomo, lo stato dell'ambiente costruito e aspetti legati all'ambiente naturale"². Si puntualizza che tale termine trova un equivalente appropriato in lingua italiana nella locuzione "utilizzo del suolo" ma è frequente consuetudine, anche se non esattamente appropriato, tradurlo in "territorio"; ciò avviene correntemente anche nella presente trattazione.

D'altra parte il territorio viene sovente caratterizzato "come l'esito di lunghi processi di strutturazione dello spazio fisico, il risultato dell'azione storica dell'uomo immersa nel tempo geologico e biologico". Il territorio è dunque "un

¹ Gelmini, 1988.

intreccio inscindibile e sinergico di ambiente fisico, ambiente costruito, ambiente antropico; il sistema di relazione di queste tre componenti genera l'identità di un luogo come soggetto vivente, unico per forma, carattere, storia, paesaggio”³.

Da quanto appena esposto si evince che con il termine territorio si intende *qualcosa* di più generico rispetto ad uso del suolo ed anzi, nella sua accezione adottata nell'ambito della pianificazione, il territorio comprende il *land-use*.

Sin dalla seconda metà del secolo scorso appare chiaro che il sistema dei trasporti e quello del territorio formano un unico sistema “a ciclo chiuso”⁴; questo come si vedrà può considerarsi dinamico e complesso, quindi in continua trasformazione e dotato di comportamento emergente⁵ e di auto-organizzazione.

Le principali relazioni che interessano il sistema della mobilità e le caratteristiche di uso del suolo sono stati prima analizzati⁶ e poi descritti mediante lo schema⁷ chiamato “ciclo trasporti-territorio”, in cui è evidente la relazione di *feedback* tra i due sistemi in quanto:

- i diversi usi del suolo determinano la localizzazione delle attività;
- la distribuzione delle attività nello spazio richiede interazioni spaziali, cioè spostamenti;
- la distribuzione delle infrastrutture di trasporto crea la possibilità di interazioni spaziali e determina l'accessibilità;
- l'accessibilità influenza le decisioni localizzative e, di conseguenza, induce cambiamenti sull'uso del territorio.

² London Department of Transport, 2005.

³ Magnaghi, 2000.

⁴ Blunden, 1971.

⁵ Per comportamento emergente si intende la situazione nella quale un sistema esibisce proprietà inspiegabili sulla base delle leggi che governano le sue componenti; esso scaturisce da interazioni non-lineari tra le componenti stesse (P.Bridgman, *The Logic of Modern Physics*, The MacMillan Company, New York 1927; citato in P.Magrassi, *Difendersi dalla complessità*, Franco Angeli 2009, pag. 51). Pertanto anche nel caso del sistema trasporti-territorio il comportamento globale del sistema emerge a partire dalle interazioni tra i componenti e non può prevedersi studiando le singole parti.

⁶ Hansen, 1959.

⁷ Wegener e Fürst, 1999.



Fig. 1 – Il ciclo trasporti-territorio (Wegener e Fürst, 1999)

Sia i trasporti che il territorio possono considerarsi come “sistemi”, ovvero insiemi definiti da elementi in relazione tra loro; pertanto gli elementi di un sistema sono legati da leggi di comportamento e quindi alla variazione di un elemento corrisponde una mutazione di tutti gli elementi con cui esso è in relazione.

Ne consegue che gli elementi del ciclo di retroazione prima riportato (uso del suolo, attività, trasporti, accessibilità) presentano un notevole grado di complessità al loro interno, pertanto lo schema è stato ulteriormente dettagliato, ad opera degli stessi autori, dividendo il cerchio in due zone, di pertinenza dei trasporti una e del territorio l'altra. Nella versione particolareggiata il ciclo di interazione, riportato in Fig. 2, si articola come segue:

- la fase di costruzione determina la realizzazione effettiva degli usi del suolo pianificati;
- il funzione di questi si verificano le scelte localizzative da parte degli utilizzatori;
- la presenza delle attività nel territorio richiede spostamenti;
- affinché questi possano aver luogo è necessario il sistema di trasporto⁸;

⁸ Un sistema di trasporto è composto dalla domanda e dall'offerta: la prima è costituita dagli utenti (viaggiatori e merci) che si spostano mentre la seconda si riferisce ad infrastrutture, veicoli, tecnologie che concorrono a fornire opportunità di trasporto per soddisfare la domanda espressa da un territorio. Domanda ed offerta di trasporto si influenzano reciprocamente poiché la scelta della destinazione, del modo di trasporto, del percorso (caratteristiche della domanda) condizionano i tempi ed i costi di spostamento (propri dell'offerta).

- in base al possesso o alla mancanza dell'auto privata vengono effettuate le scelte di viaggio relative alla destinazione, al modo di trasporto, al percorso.
- dall'insieme di queste scelte dipende il carico della rete stradale che determina i tempi, le distanze ed i costi di spostamento.
- questi influiscono sull'accessibilità di un territorio o di una zona;
- l'accessibilità determina poi l'attrattività;
- questa a sua volta influisce sulle scelte localizzative degli investitori e sulla distribuzione delle attività.

A questo punto ricomincia il *loop* ciclico di interazione trasporti-territorio.

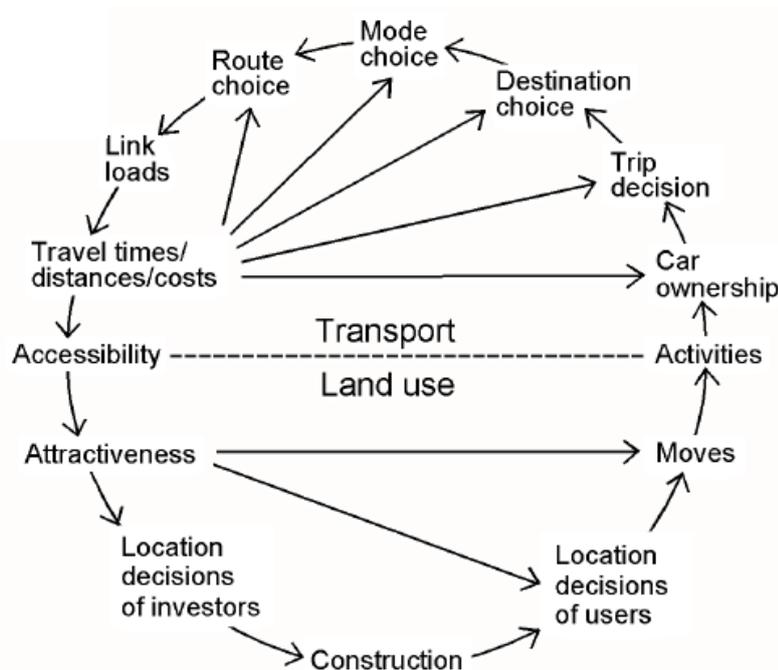


Fig. 2 - The land-use/transport feedback cycle (Wegener e Fürst, 1999)

Si fa notare che quanto finora discusso è riferibile a diverse scale territoriali (sub-urbana, urbana, provinciale, regionale, nazionale, etc.), a seconda del livello di dettaglio considerato nella definizione dei vari sottosistemi (uso del suolo, attività, trasporti).

Si esaminano nel seguito i risultati dei principali approcci teorici ed empirici relativi all'esame dell'interazione tra l'uso del suolo ed il sistema dei trasporti.

1.1. Approccio teorico all'interazione trasporti-territorio

I principali approcci teorici per chiarire la relazione bidirezionale tra uso del territorio e trasporti includono principi tecnici, economici e sociali.

I risultati delle numerose teorie relative all'interazione tra uso del territorio e trasporti sono stati sintetizzati⁹ in termini di impatti attesi su fattori principali quali: densità residenziale e densità di addetti, localizzazione, dimensioni della città, accessibilità, progetto del quartiere, tempi e costi di spostamento. Si riportano nel seguito le tabelle che contengono la schematizzazione di tali risultati, elaborate nell'ambito del progetto PORTAL¹⁰, sulla base dei progetti di ricerca dell'Unione Europea.

La Tabella 1 mostra, da un punto di vista teorico, l'impatto delle politiche di *land-use* sui trasporti.

Si osserva che una densità residenziale elevata mostra un impatto minimo sulla riduzione della lunghezza media dello spostamento, se non vi sono di incrementi nel costo di spostamento; vi è invece una positiva correlazione tra un'alta densità di addetti e la lunghezza media dello spostamento.

Inoltre la presenza di servizi che sono attrattori di domanda nelle zone facilita la riduzione della lunghezza dello spostamento. Poichè le localizzazioni più periferiche comportano spostamenti più lunghi, la lunghezza degli spostamenti aumenta al crescere della dimensione della città.

La densità residenziale e di addetti, assieme alle dimensioni dell'agglomerato urbano ed alla buona accessibilità delle zone con il trasporto pubblico tendono ad essere positivamente correlati con la domanda di trasporto pubblico stesso.

L'adeguata progettazione del quartiere, la presenza di un mix funzionale di attività e residenze con spostamenti brevi hanno un impatto positivo sulla quota dei ciclisti e pedoni.

Quindi dalle teorie emerge che le politiche di uso del territorio non hanno impatti rilevanti sulla frequenza degli spostamenti, ma solo sulla loro lunghezza.

⁹ Wegener e Fürst 1999.

¹⁰ Promotion of results in Transport Research and Learning.

Tabella 1 - Impatti teoricamente attesi sui trasporti per effetto dell'uso del territorio (Portal, 2003)

Direzione	Fattore	Impatti su	Impatti attesi
Uso del territorio ↓ Trasporti	Densità residenziale	Lunghezza spostamento	Densità residenziali più elevate non conducono da sole a spostamenti più corti. Un misto di luoghi di lavoro e residenze può condurre a spostamenti più corti se i costi dello spostamento aumentano.
		Frequenza spostamento	Piccolo impatto: se gli spostamenti sono più corti, viene effettuato un maggior numero di spostamenti.
		Scelta del modo	Densità residenziali minime sono un prerequisito per l'efficienza del trasporto pubblico. Un maggior numero di spostamenti a piedi ed in bicicletta sono effettuati se gli spostamenti si riducono di lunghezza (vedi di seguito).
	Densità di addetti	Lunghezza dello spostamento	La concentrazione di luoghi di lavoro in pochi centri d'impiego tende ad aumentare la lunghezza media degli spostamenti. Un bilanciamento dei luoghi di lavoro e delle residenze in un'area porta a spostamenti di breve distanza solo se lo spostamento non diventa troppo costoso
		Frequenza dello spostamento	Piccolo impatto: se gli spostamenti sono più corti, viene fatto un maggior numero di spostamenti.
		Scelta del modo	La concentrazione di luoghi di lavoro in pochi centri d'impiego può ridurre l'uso dell'autovettura privata se supportato da un'efficiente trasporto pubblico. Un maggior numero di spostamenti a piedi ed in bicicletta verrà effettuato se gli spostamenti si riducono di lunghezza (vedi di seguito).
	Progetto di quartiere	Lunghezza dello spostamento	Spazi pubblici attrattivi e una varietà di negozi e servizi può indurre un maggior numero di spostamenti locali.
		Frequenza dello spostamento	Se gli spostamenti sono più corti, viene fatto un maggior numero di spostamenti.
		Scelta del modo	Il disegno delle strade, degli spazi pedonali e delle piste ciclabili può indurre a maggiori spostamenti a piedi e in bicicletta.
	Localizzazione	Lunghezza dello spostamento	Localizzazioni più periferiche tendono ad indurre spostamenti più lunghi.
		Frequenza dello spostamento	Nessun impatto
		Scelta del modo	Localizzazioni vicine alle stazioni del trasporto pubblico potrebbero indurre un maggior numero di spostamenti con il trasporto pubblico.
	Dimensioni della città	Lunghezza dello spostamento	La lunghezza dello spostamento dovrebbe essere correlata negativamente alle dimensioni della città.
		Frequenza dello spostamento	Nessun impatto
		Scelta del modo	Città più grandi possono supportare sistemi di trasporto pubblico più efficienti così un maggior numero di spostamenti possono essere effettuati con il trasporto pubblico.

La Tabella 2 presenta l'impatto delle politiche dei trasporti sull'uso del territorio e l'impatto delle stesse sui sistemi di trasporto.

Tabella 2 - Impatti teoricamente attesi per effetto dei trasporti sull'uso del territorio e sui trasporti stessi (Portal, 2003)

Direzione	Fattore	Impatto su	Impatti attesi
Trasporti ↓ Uso del territorio	Accessibilità	Zone residenziali	Zone con una migliore accessibilità ai luoghi di lavoro, ai negozi, alle scuole ed ai luoghi di svago attrarranno un maggiore sviluppo residenziale, avranno costi elevati dei terreni e si svilupperanno più velocemente. Migliorando l'accessibilità localmente cambierà la direzione delle nuove urbanizzazioni; migliorando l'accessibilità nell'intera area urbana si avrà un'urbanizzazione (uno sviluppo delle aree residenziali) più dispersa.
		Zone industriali	Zone con una migliore accessibilità autostradale e con terminali ferroviari del traffico merci rendono più attrattiva l'area per nuovi insediamenti industriali e si svilupperanno più velocemente. Migliorare l'accessibilità locale in questo caso cambia la direzione dei nuovi insediamenti industriali.
		Zone ad Uffici	Zone con una migliore accessibilità agli aeroporti , con stazioni ferroviarie dell'alta velocità ed autostrade attrarranno di più insediamenti destinati ad uffici, hanno elevati costi dei terreni. Migliorare l'accessibilità locale cambierà la direzione dello sviluppo delle nuove zone destinate ad uffici
		Zone di commercio al minuto	Zone con una migliore accessibilità per i clienti e con ditte di commercio al dettaglio competitive hanno più elevati costi dei terreni e si svilupperanno più velocemente. Migliorare l'accessibilità locale cambierà la direzione dello sviluppo delle nuove aree destinate al commercio al minuto.
Trasporti ↓ Trasporti	Accessibilità	Lunghezza dello spostamento	Zone con una buona accessibilità a molte destinazioni indurranno a spostamenti più lunghi.
		Frequenza dello spostamento	Zone con una buona accessibilità a molte destinazioni attrarranno un maggior numero di spostamenti.
		Scelta del modo	Zone con una buona accessibilità veicolare attrarranno un maggior numero di spostamenti con l'autovettura zone con una buona accessibilità al trasporto pubblico attrarranno un maggior numero di spostamenti con il TP.
	Costo dello spostamento	Lunghezza dello spostamento	C'è una forte relazione inversa tra il costo e la lunghezza dello spostamento.
		Frequenza dello spostamento	C'è una forte relazione inversa tra il costo e la frequenza dello spostamento.
		Scelta del modo	C'è una forte relazione inversa tra il costo dello spostamento e la scelta del modo di trasporto.
		Lunghezza dello spostamento	C'è una forte relazione inversa tra il tempo e la lunghezza dello spostamento.
Tempo dello spostamento	Frequenza dello spostamento	C'è una forte relazione inversa tra il costo e la frequenza dello spostamento.	
	Scelta del modo	C'è una forte relazione inversa tra il costo dello spostamento e la scelta del modo di trasporto.	

L'impatto dei trasporti sull'uso del territorio è mediato dal cambiamento di accessibilità ad una certa zona; in effetti la maggiore accessibilità aumenta

l'attrattività dell'area per tutte le destinazioni d'uso del territorio e, in tal modo, influenza la direzione dello sviluppo urbano.

Gli impatti delle politiche dei trasporti sui trasporti stessi appaiono alquanto evidenti. In generale, il tempo ed il costo dello spostamento hanno un impatto negativo sia sulla lunghezza che sulla frequenza dello spostamento stesso; al l'accessibilità invece ha un impatto positivo su entrambi. In presenza di più alternative, la scelta del modo di trasporto dipende dall'*attrattività* del modo stesso rispetto agli altri; la tendenza degli utenti è di preferire il modo di trasporto più veloce e più economico, ovvero di minimizzare il *costo generalizzato di trasporto*¹¹.

Esaminando gli approcci teorici si può concludere che, in prima analisi, l'impatto delle misure *push*, come ad esempio l'aumento del tempo di spostamento, risulta più incisivo rispetto a quello delle *pull*, come misure di uso del territorio.

1.2. Approccio empirico all'interazione trasporti-territorio

Nell'ambito del progetto europeo TRANSLAND¹² sono stati riveduti i principali studi empirici relativi ai reciproci impatti di uso del territorio e dei trasporti; tali valutazioni sono state sintetizzate¹³ nelle tabelle seguenti.

La descrizione dell'impatto delle politiche d'uso del territorio sui trasporti è contenuta nella Tabella 3; da essa si evince che la densità residenziale risulta inversamente proporzionale alla lunghezza dello spostamento, pertanto l'accentramento di addetti richiama spostamenti più lunghi.

Nessuno degli studi esaminati ha evidenziato un impatto significativo di alcun fattore sulla frequenza dello spostamento.

¹¹ Nell'ambito della teoria dei sistemi di trasporto si definisce *costo generalizzato di trasporto* l'onere, economico e non, sopportato dagli utenti per la percorrenza di un determinato arco, così come da loro percepito. Pertanto tale costo comprende fattori quali tempo, costo monetario, comfort, etc; nella pratica questo viene valutato considerando un utente medio.

¹² Wegener e Fürst, 1999.

¹³ PORTAL, 2003.

La quota modale di spostamenti effettuati con il trasporto pubblico è positivamente legata alla densità residenziale e di addetti, così come con la dimensione degli agglomerati e la possibilità di rapido accesso alle fermate.

Tabella 3 - Impatti dell'uso del territorio come risultato da studi empirici (Portal, 2003)

Direzione	Fattore	Impatti su	Impatti osservati
Uso del territorio ↓ Trasporti	Densità Residenti	Lunghezza dello spostamento	Numerosi studi sostengono l'ipotesi che una alta densità combinata con un mix di usi del territorio induce spostamenti di distanze più brevi. Così, l'impatto è più leggero se il costo dello spostamento dipende dalle differenze.
		Frequenza dello spostamento	Nessuno o poco significativi impatti osservati
		Scelta del modo	E' ampiamente confermato che la densità residenziale è correlata con l'uso del trasporto pubblico molto di più che con l'uso del veicolo privato
	Densità Addetti	Lunghezza dello spostamento	In molti studi è confermata l'ipotesi che un bilanciamento tra lavoratori e lavori danno luogo a viaggi di lavoro più corti; tuttavia questo non è confermato in altri studi. Lavori mono funzionali centri e quartieri dormitorio hanno viaggi più lunghi
		Frequenza dello spostamento	Non sono stati trovati impatti significativi
		Scelta del modo	Una più alta densità di addetti induce ad un uso più elevato del trasporto pubblico
	Disegno del quartiere	Lunghezza dello spostamento	Studi americani hanno confermato che quartieri "tradizionali" hanno viaggi più corti rispetto ai suburbi sviluppatasi sull'uso dell'automobile privata. Risultati simili sono stati trovati in Europa.
		Frequenza dello spostamento	Non sono riportati effetti.
		Scelta del modo	Quartieri tradizionali hanno una alta e significativa percentuale di uso del trasporto pubblico, pedoni e ciclisti. Tuttavia, i fattori di progetto perdono importanza una volta che le caratteristiche socio-economiche della popolazione dipendono da esse.
	Ubicazione area	Lunghezza dello spostamento	La distanza dai principali centri di addetti è un importante determinante per la distanza dello spostamento
		Frequenza dello spostamento	Non sono stati osservati effetti
		Scelta del modo	La distanza dalla fermata del trasporto pubblico influenza fortemente l'uso del trasporto pubblico
	Dimensione Città	Lunghezza dello spostamento	Le distanze medie degli spostamenti sono più basse nelle aree urbane più grandi e più elevate nelle aree rurali.
		Frequenza dello spostamento	Non sono stati osservati effetti
		Scelta del modo	L'uso del trasporto pubblico è più elevato nelle grandi città e più basso nelle aree rurali

La Tabella 4 contiene la valutazione empirica dell'effetto delle politiche di trasporto sull'uso del territorio e l'effetto delle politiche di trasporto sui modelli di mobilità.

Tabella 4 - Impatti dei trasporti come risultato da studi empirici (Portal, 2003)

Direzione	Fattore	Impatti su	Impatti osservati
Trasporto ↓ Uso del territorio	Accessibilità	Zona residenziale	Ubicazioni più accessibili sono sviluppate velocemente. Se l'accessibilità nell'intera regione cresce, lo sviluppo residenziale sarà più disperso.
		Zona industriale	C'è una piccola evidenza degli impatti dell'accessibilità ad una zona industriale ma l'evidenza più ampia dell'importanza dell'accessibilità è per le fabbriche ad elevata tecnologia e di servizio.
		Zona ad Uffici	Le nuove zone ad uffici ricorrono in modo predominante nelle zone ad elevata accessibilità nell'interno della città o in parchi uffici o in 'città margine' nella periferia urbana con un buon accessibilità autostradale.
		Zona di vendita al dettaglio	Zone nuove di vendita al dettaglio ricorrono sia nelle zone ad elevata accessibilità all'interno delle città che nelle zone periferiche con ampie aree parcheggio e una buona accessibilità stradale.
Trasporto ↓ Trasporto	Accessibilità	Lunghezza spostamento	La dispersione suburbana accelerata da una buona accessibilità alla città centrale genera spostamenti più lunghi per lavoro e per shopping.
		Frequenza dello spostamento	Non sono conosciuti studi sistematici sulla frequenza dello spostamento
		Scelta del modo	Le differenze di accessibilità generano una ripartizione modale dal tempo e costo dello spostamento (vedi di seguito).
	Costo del viaggio	Lunghezza dello spostamento	L'elasticità del prezzo della lunghezza dello spostamento si è trovato che è in un range di -0.3.
		Frequenza dello spostamento	Non sono conosciuti studi sistematici sulla correlazione tra la frequenza dello spostamento ed il costo dello spostamento
		Scelta del modo	Le differenze di costo di viaggio influenzano la scelta modale, inserire il trasporto pubblico gratis non induce molti conducenti di autoveicoli privati, pedoni e ciclisti a passare al trasporto pubblico.
	Tempo di viaggio	Lunghezza spostamento	Il tempo di viaggio risparmiato attraverso miglioramenti sul sistema di trasporto è speso, in parte, per compiere spostamenti più lunghi.
		Frequenza dello spostamento	Il tempo di viaggio risparmiato attraverso miglioramenti sul sistema di trasporto è speso, in parte, per compiere più spostamenti.
		Scelta del modo	Interventi tesi al miglioramento del tempo di viaggio di un solo modo non influenzano la scelta modale.

Com'è facilmente intuibile, l'accessibilità è un importante fattore per differenti tipologie di uso del territorio; essa condiziona fortemente la localizzazione di residenze, uffici e attività commerciale come la vendita al dettaglio. Infatti le zone caratterizzate da un'elevata accessibilità tendono a svilupparsi più rapidamente di altre.

Per quanto attiene agli effetti delle politiche di trasporto sugli spostamenti, i rapporti causali appaiono indiscussi e gli studi empirici confermano i meccanismi di effetto. Mentre il costo ed il tempo dello spostamento tendono ad avere un effetto negativo sulla lunghezza del viaggio, l'alta accessibilità di una zona genera viaggi più lunghi, sia per motivi di lavoro che di svago.

1.3. Città e mobilità

La mobilità è evidentemente una componente fondamentale della città. In effetti la città è stata definita come "il dispositivo topografico e sociale capace di rendere efficaci al massimo l'incontro e lo scambio tra gli uomini"¹⁴. Come si è visto più volte tali scambi, così come le attività, necessitano di spostamenti, pertanto la città può essere anche intesa come una parte di territorio ad elevata densità di attività e in cui si ha una maggiore concentrazione di spostamenti. Da questa caratterizzazione emerge in maniera più chiara la relazione inscindibile che lega appunto città e mobilità.

I paradigmi interpretativi dell'interazione tra i sistemi di trasporto ed il sistema urbano si sono evoluti nel tempo ed a seconda dell'approccio scientifico utilizzato per tale studio. I principali approcci presenti in letteratura sono stati ben sistematizzati¹⁵ in base alla principale componente disciplinare dell'approccio utilizzato; questi sono riportati schematicamente in Tabella 5 .

Dall'esame di queste teorie è evidente che, poichè è consolidata la necessità di integrazione tra discipline urbanistiche e trasportistiche, gli studi si concentrano soprattutto sulla conoscenza delle interazioni tra i sistemi di trasporto ed il sistema urbano e sono finalizzati alla definizione di complessi modelli analitici per di simulare il comportamento del sistema integrato trasporti-territorio ma sono carenti in merito alla definizione di tecniche e metodi per il governo delle trasformazioni.

¹⁴ Roncayolo, 1978.

Tabella 5 - Approcci per lo studio delle interazioni tra città e sistemi di trasporto (Papa, 2006)

macrocategoria	approccio	descrizione
Tecnico: città come sistema	Urbanistico-sistemico	Territorio e città come sistemi complessi e studio delle relazioni tra il sistema delle attività e degli spazi ed il sistema di trasporto.
	Trasportistico - ingegneristico	Sistema di trasporto come sottosistema del sistema urbano e definizione di modelli di simulazione del sistema integrato trasporti-territorio
	Geografico applicativo	Analisi della struttura fisica e funzionale della città in relazione ai sistemi di trasporto (Cervero, 1998; Hanson, 1995; Kenworthy e Laube, 1999; Manheim, 1974)
Economico: città come mercato	Microeconomico	Studio del comportamento degli attori del sistema urbano (domanda di spostamento) in relazione all'evoluzione del sistema urbano e del sistema di trasporto
	Macroeconomico	Studio della città come sistema economico e analisi delle trasformazioni macroeconomiche in reazione all'evoluzione del sistema di trasporto.
Sociale: città come spazio sociale	Storico-topografico	Studio dell'evoluzione della città in relazione allo sviluppo delle infrastrutture e delle tecnologie del sistema di trasporto (Hoyle e Knowles, 1998)
	Sociologico e politico	Studi della gestione del processo decisionale
	Urbanistico - teorico	Definizione di teorie e scenari di evoluzione integrata trasporti-territorio
Infrastrutturale: città come spazio costruito	Ingegnistico - infrastrutturale	Impatti delle infrastrutture sul sistema urbano e territoriale. Progettazione infrastrutturale
	Architettonico	Relazione tra il sottosistema fisico della città e le infrastrutture di trasporto. Progettazione delle infrastrutture

Si osserva che l'interpretazione del sistema integrato trasporti-territorio di Wegener e Fürst (1999) precedentemente descritta rientra nel cosiddetto approccio "tecnico", che riveste particolare interesse ai fini della presente ricerca.

¹⁵ Papa, 2006.

Inoltre sono numerose le teorie che considerano i trasporti come parte del sistema urbano; infatti secondo l'approccio urbanistico-sistemico, che riprende le ipotesi di base della teoria dei sistemi¹⁶, il sistema di trasporto è considerato un sottosistema del sistema urbano.

In particolare, nell'approccio strettamente trasportistico il sistema di trasporto viene definito come "sottosistema del sistema urbano i cui elementi determinano la domanda di spostamenti tra punti del territorio, l'offerta dei servizi di trasporto per il soddisfacimento di tale domanda e le loro reciproche interazioni"¹⁷.

In realtà dall'esame della letteratura emerge che il sistema urbano e quello di trasporto dovrebbero convenientemente essere interpretati come appartenenti ad un solo sovra-sistema e pertanto essere considerati un unico sistema integrato. Affinchè ciò possa avvenire è necessaria la formulazione di un paradigma interpretativo per la conoscenza del sistema integrato trasporti-territorio; questo inoltre essendo finalizzato al governo delle trasformazioni del sistema integrato deve fondarsi su un approccio *decision-oriented*¹⁸.

Adottando l'approccio basato sulla teoria dei sistemi si può considerare *città* come *sistema*¹⁹ e definirla pertanto come un "sistema spaziale dinamico" cioè un "sistema urbano"; al suo interno possono essere individuati i seguenti elementi:

- attori: coloro che svolgono attività nella città;
- attività: ciò che viene svolto nella città;
- spazi: luoghi in cui si svolgono le attività;
- territorio: supporto fisico in cui sono distribuiti gli spazi.

Le relazioni tra i suddetti elementi del sistema urbano possono così sintetizzarsi:

- attori - attività: è una "relazione culturale" poichè legata all'essere persona, proprio della cultura di un popolo;

¹⁶ Berthelaffy, 1976; McLoughlin, 1979.

¹⁷ Cascetta, 2001.

¹⁸ Meyer e Miller, 2001.

¹⁹ Un sistema può pensarsi costituito da elementi e relazioni tra di essi; tali relazioni, a loro volta, determinano la struttura e l'organizzazione del sistema stesso.

- attività – spazi : è una “relazione di adattamento”, alcune attività possono svolgersi in spazi diversi (attività delocalizzate) ma in generale si fa riferimento ad attività specializzate che necessitano di un adattamento dello spazio;
- spazi - territorio: è una “relazione di distribuzione”, legata alla localizzazione degli spazi sul territorio.

Come un sistema può essere articolato in sottosistemi, così all'interno del sistema urbano possono distinguersi:

- il sottosistema antropico, costituito dagli attori;
- il sottosistema funzionale, composto da attività e spostamenti;
- il sottosistema fisico, formato dagli spazi adattati;
- il sottosistema delle risorse naturali, legato al territorio.

Tra i sottosistemi individuati sussistono le seguenti relazioni principali:

- destinazione d'uso: rapporto tra attività e spazi adattati;
- intensità d'uso: rapporto tra spazi adattati e territorio;
- forma d'uso: rapporto tra attività, spazi e territorio, cioè la forma assunta da uno spazio affinché l'attività possa svolgersi sul territorio, ovvero morfologia spaziale dello spazio adattato.

Ai sottosistemi suddetti è necessario aggiungere quello relativo ai trasporti, considerato quindi come parte del sistema urbano; il sottosistema dei trasporti è a sua volta costituito da due componenti: la domanda e l'offerta.

Il sottosistema della domanda comprende gli utenti (viaggiatori e merci) che usufruiscono del servizio di trasporto offerto in un dato tempo; come si è detto, la necessità di spostamenti è dovuta alla presenza di attività variamente localizzate nello spazio, pertanto la domanda di trasporto è “derivata” dalla connessione tra assetto del territorio ed offerta di trasporto.

Il sottosistema dell'offerta di trasporto riguarda le infrastrutture, i servizi, le tariffe, i veicoli e le tecnologie di controllo; l'azione congiunta di questi elementi determina le opportunità di trasporto necessarie a soddisfare la domanda di mobilità di persone e merci espressa dal territorio.

1.4. Il sistema integrato trasporti- territorio a scala urbana

Come si è detto, sia considerando l'approccio sistemico che quello propriamente trasportistico, il sistema di trasporto può essere considerato parte del sistema urbano, a cui è legato da una serie di relazioni.

Come si è visto parlando genericamente di "territorio", anche alla scala urbana le componenti del sistema interagiscono tra loro e con il sottosistema di trasporto: l'intensità d'uso, la distribuzione e la tipologia delle attività presenti sul territorio sono correlate ai trasporti e alla "accessibilità" relativa tra le varie zone.

Tra i diversi elementi del sistema urbano si verificano le interazioni simboleggiate dalle frecce del diagramma a blocchi rappresentativo del sistema integrato trasporti-territorio a scala urbana (Fig. 3): ad ogni variazione di un sottosistema, gli elementi in relazione con questo si modificano a loro volta.

In particolare il sottosistema di trasporto subisce variazioni al variare dei sottosistemi antropico, fisico, funzionale e geomorfologico (e viceversa).

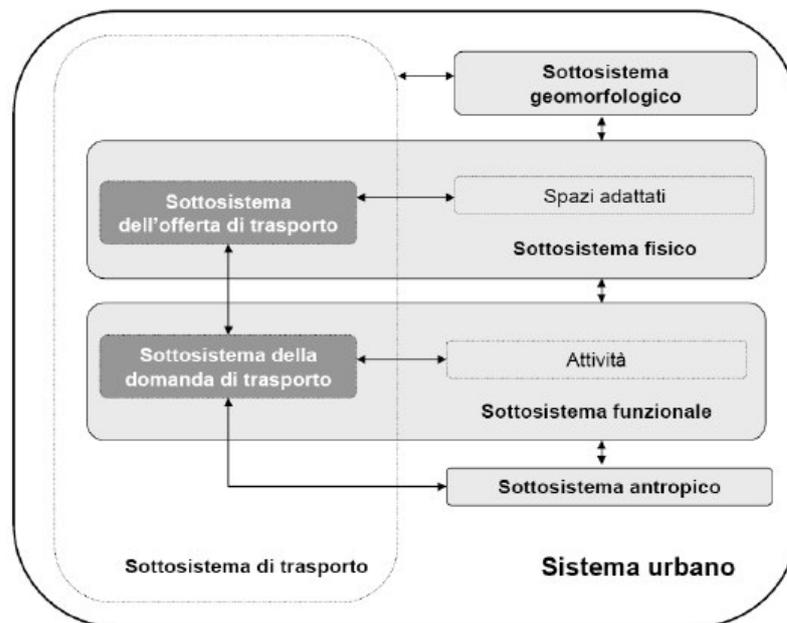


Fig. 3 - Schema interpretativo del sistema integrato trasporti-territorio urbano (Papa, 2006)

Per analizzare nel dettaglio un esempio, si consideri il di un sistema urbano costituito da due sottosistemi, quello delle attività (popolazione, residenze, luoghi di lavoro, etc.) e quello relativo al trasporto (Cascetta, 1998).

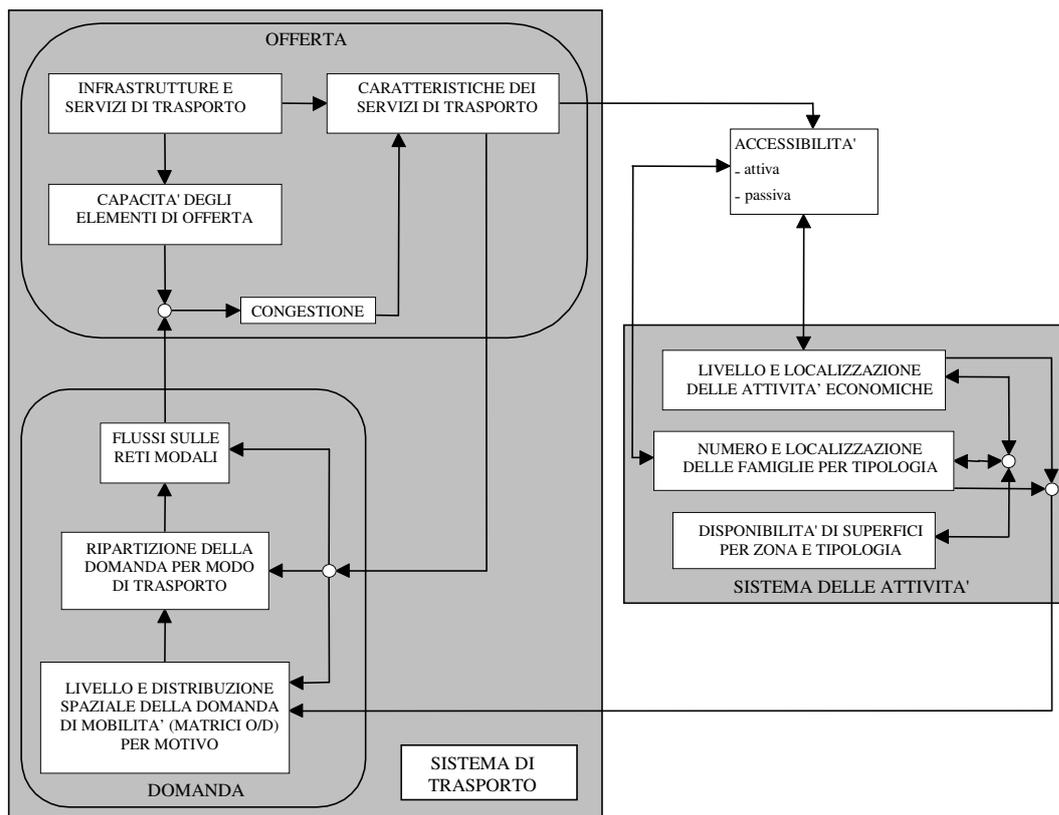


Fig. 4 - Relazioni tra sistema dei trasporti e sistema delle attività (Cascetta, 1998)

Il *sistema delle attività* presenti sul territorio può a sua volta essere scomposto in tre sottosistemi:

- le residenze, distinte per localizzazione e categoria (composizione, fascia di reddito);
- le attività economiche, articolate per settore, tipologia e localizzazione;
- le superfici disponibili, suddivise per zona e tipologia.

Le componenti del sistema delle attività interagiscono tra loro in vario modo: le residenze dipendono dalle opportunità di lavoro e dalla loro distribuzione, quindi dalle attività economiche; a sua volta la localizzazione di queste ultime è anche funzione della distribuzione delle famiglie residenti; inoltre l'ubicazione di residenze ed attività economiche è legata alla disponibilità di superfici compatibili con i vari usi ed ai relativi prezzi.

Nei meccanismi che regolano il funzionamento del sistema delle attività interviene in modo rilevante l'*accessibilità* delle zone, dovuta alla reciproca influenza tra tale sistema e quello di trasporto. L'*accessibilità* può essere genericamente definita come la misura della capacità di un luogo di essere

raggiunto e della sua attrattività; quindi la capacità e la struttura del sistema di trasporto e le caratteristiche del sistema delle attività sono elementi chiave per la determinazione dell'accessibilità.

Questo tema verrà ampiamente trattato nel seguito, ma in questa fase si ritiene opportuno distinguere due tipi di accessibilità di una zona: quella *attiva*, che misura la facilità con cui famiglie e imprese di una data zona possono raggiungere le funzioni presenti nelle altre zone del territorio, e quella *passiva*, che misura la facilità con cui le funzioni (sociali, commerciali, produttive) presenti in una data zona possono essere raggiunte da utenti che si trovano in altre aree.

Per quanto attiene al *sistema di trasporto*, anche questo può considerarsi composto da due parti integranti: la domanda e l'offerta.

La domanda di trasporto deriva dalla necessità da parte di residenti ed attività di fruire delle diverse funzioni urbane localizzate in vari punti del territorio; essa è data dal numero di persone e merci che si spostano, per diversi motivi, in diversi periodi e con differenti modi di trasporto. La domanda di trasporto è quindi il risultato di una serie di scelte effettuate dagli utenti del sistema: "scelte di viaggio" (destinazione, orario, frequenza, modo, percorso) e "scelte di mobilità" (possesso di patente, numero di mezzi, ecc.). Tali scelte sono anche influenzate dalle caratteristiche dei servizi di trasporto (tempo, costo, affidabilità, comfort, ecc.); queste dipendono dall'offerta di trasporto, cioè dall'insieme delle infrastrutture (rete stradale e ferroviaria, parcheggi) e degli elementi organizzativi (linee, orari, tariffe, regole della circolazione stradale e della sosta) che rendono possibile lo spostarsi.

Una peculiarità dell'offerta di trasporto è la sua capacità limitata, dovuta al fatto che gli elementi del sistema stesso possono consentire, in un dato intervallo di tempo, lo spostamento di un limitato numero di utenti.

Nei casi in cui la domanda è prossima alla capacità si produce il fenomeno della congestione; questo condiziona fortemente le condizioni di utilizzo e le prestazioni del sistema (tempi di viaggio, affidabilità, comfort, consumi, ecc.), oltre ad avere effetti negativi legati all'inquinamento e all'intrusione visiva.

Come si è detto, l'accessibilità relativa delle diverse zone del sistema urbano è determinata dalle caratteristiche del sistema di trasporto e dal suo rapporto con quello delle attività. In effetti l'accessibilità, sia attiva che passiva, condiziona le scelte localizzative in quanto:

- la scelta della zona di residenza, tra gli altri fattori, tiene conto dell'accessibilità attiva della zona stessa al luogo di lavoro ed ai servizi per le famiglie (commercio, istruzione);
- le attività economiche vengono in genere localizzate in considerazione dell'accessibilità passiva rispetto ai potenziali clienti.

Come risulta evidente dalla Fig. 4, vi sono numerosi cicli di *feedback* tra i vari elementi e sottosistemi che compongono il sistema urbano. Questi cicli riguardano sia dinamiche più interne ai sottosistemi e che si verificano nel breve periodo, sia meccanismi esterni che coinvolgono più elementi nel lungo periodo.

In considerazione di ciò, è lecito definire il sistema di trasporto, quello delle attività ed a maggior ragione quello urbano, come "sistemi complessi"; la complessità è appunto dovuta alle relazioni non lineari ed ai cicli di retroazione che intercorrono tra i vari componenti dei sistemi stessi.

Storicamente l'ingegneria dei trasporti si è occupata dell'azione del sistema delle attività su quello dei trasporti, cioè di come la localizzazione delle attività influisce sulla domanda di mobilità, trascurando la relazione inversa. Di recente si è invece sviluppata la tendenza a considerare il sistema urbano nella sua interezza includendo, anche se con una certa approssimazione, le mutue relazioni che si sviluppano al suo interno.

2. L'evoluzione delle aree urbane

Il sistema urbano, scomponibile nei vari sottosistemi fin qui descritti, ha subito consistenti cambiamenti, sia nella forma che nella struttura, a causa dell'evoluzione delle città nel suo complesso e del progresso dei sistemi di trasporto nel corso della storia. Data la stretta interdipendenza tra il sistema urbano e quello di trasporto, più radicali sono stati i cambiamenti nelle tecnologie di trasporto, maggiormente è stata alterata la forma urbana.

Principalmente si possono rilevare tre modelli urbani che si sono succeduti nel tempo, legati a tre grandi passaggi nella storia evolutiva delle città e strettamente riconducibili all'evoluzione delle tecnologie legate ai trasporti ed alla costruzione delle relative infrastrutture (Newman e Kenworthy, 1996): la *walking city*, la *transit city*, la *automobile city*.

Il primo modello urbano è appunto costituito dalla *walking city*, una “città dei pedoni” caratterizzata da struttura organica, densità elevata ed uso misto del territorio; ciò fa sì che in essa è possibile compiere a piedi gli spostamenti interni all’area urbana.

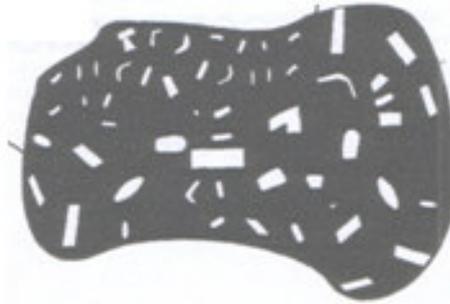


Fig. 5 - La *walking city* (Newman e Kenworthy, 1996)

La storia delle città è stata fortemente segnata dalla rivoluzione industriale e dal conseguente aumento di popolazione che rese necessario la realizzazione dei primi sistemi di trasporto pubblico urbano: la costruzione di reti ferroviarie urbane (tram e ferrovia) ha influenzato lo sviluppo economico e condizionato la localizzazione degli insediamenti; pertanto il territorio urbano è stato ridisegnato a causa della nuova offerta di trasporto su ferro. Questo modello urbano industriale viene denominato *transit city*, una “città orientata al trasporto pubblico”: la rete su ferro risulta strutturante del tessuto urbano, infatti in corrispondenza delle nuove stazioni si ha la nascita di piccoli centri urbani mentre l’area centrale risulta rafforzata. Questa tipologia è quindi caratterizzata da densità media, mix funzionale di attività e forte centralizzazione.

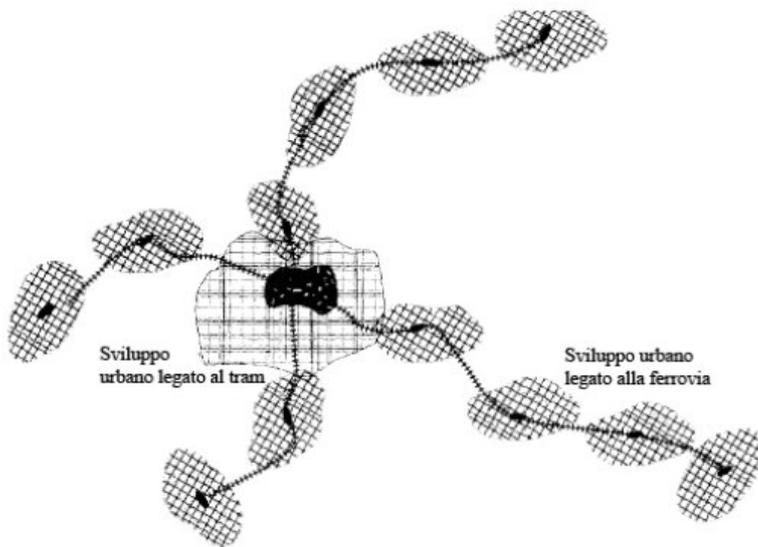


Fig. 6 - La *transit city* (Newman e Kenworthy, 1996)

La struttura delle grandi città cambia drasticamente dal secondo dopoguerra in poi a causa di vari fattori: aumento della popolazione, diffusione dell'auto privata, crescita di domanda di trasporto, nascita nuovi modelli culturali ed economici. Questi inducono la nascita della *automobile city*, caratterizzata da basse densità residenziali, specializzazione funzionale, decentralizzazione, elevata separazione spaziale delle attività sul territorio e quindi diffusione urbana.



Fig. 7 - La *automobile city* (Newman e Kenworthy, 1996)

Dall'esame dei tre modelli urbani sopra descritti risulta evidente come la diminuzione dei tempi di spostamento, dovuta alla costruzione di nuove infrastrutture di trasporto ed all'innovazione tecnologica, abbia condizionato la forma urbana. Questo risulta ancora più palese se si definiscono i contorni evolutivi della forma urbana in quattro epoche successive, ciascuna corrispondente al mezzo di trasporto prevalente utilizzato e alla costruzione di nuove infrastrutture di trasporto: la città pedonale, la città del ferro, la città dell'auto e, più recente, la città dell'autostrada.

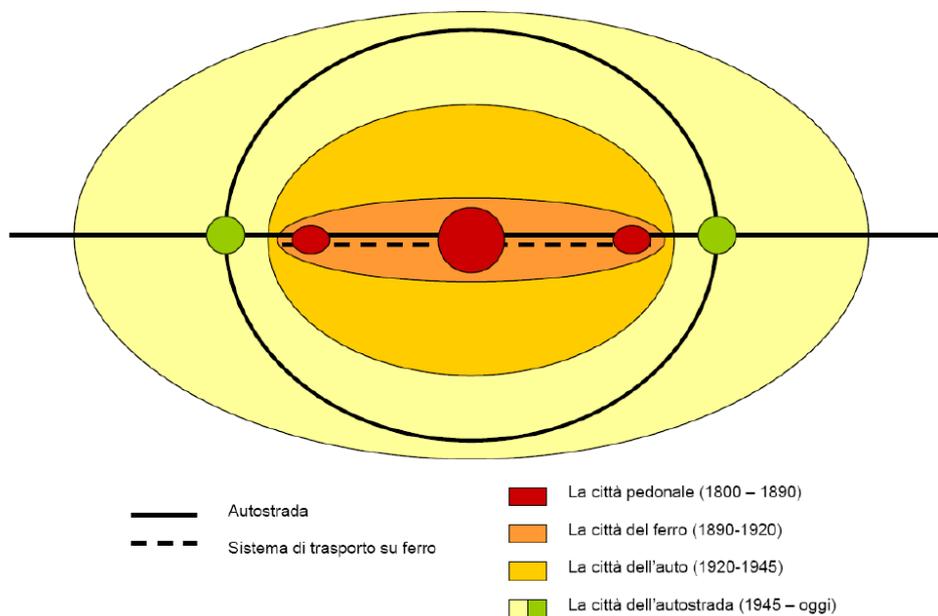


Fig. 8 - Evoluzione dei contorni urbani in epoche successive (Rodrigue et alii, 2006)

3. Il ruolo della pianificazione

La città dell'auto e quella dell'autostrada sono il risultato della metropolizzazione²⁰.

La dispersione urbana appare inizialmente risolutiva al problema della congestione e al desiderio di elevati standard di qualità della vita, ma i conseguenti sistemi insediativi spontanei a bassa densità hanno prodotto processi di suburbanizzazione.

Lo *sprawl* metropolitano ha quindi causato la dispersione delle attività sul territorio e lo squilibrio tra relazioni funzionali e localizzazioni; ciò ha indotto una mutazione della domanda di mobilità e, anche a causa della diffusione dell'auto privata, si è verificato l'ampliamento dei bacini di vita quotidiana delle persone e di mobilità nonché la dipendenza dall'auto privata.

Inoltre la presenza di spostamenti da molte origini a molte destinazioni e pochi concentrati corridoi di domanda²¹ induce una elevata distribuzione degli spostamenti sul territorio.

Poiché l'automobile permette di localizzare le residenze e le attività in ogni parte del territorio²² si continua ad assistere alla rottura della connessione tra i trasporti e l'uso del territorio.

Il processo di suburbanizzazione è stato anche dovuto alle implicite politiche di *laissez-faire* sia in ambito urbanistico che trasportistico. La correzione dei trend risulta difficoltosa a causa della cristallizzazione, spesso irreversibile, dei modelli insediativi e di mobilità²³.

È compito della pianificazione restituire compattezza e densità alle relazioni funzionali e al territorio, agendo mediante politiche anticipatrici; in effetti un'opportuna pianificazione può:

- ricompattare il territorio per attuare principi di equità spaziale;
- ottimizzare l'organizzazione e l'efficienza delle attività produttive e non, rendendo possibile l'efficienza del territorio;
- soddisfare le esigenze di cooperazione e competizione tra sistemi economici;
- promuovere la sostenibilità, nelle sue tre dimensioni fondamentali: ambientale, sociale ed economica.

Quanto appena elencato può realizzarsi soltanto integrando e coordinando politiche trasportistiche e di *land-use*.

Per questo "è importante coordinare le decisioni di pianificazione di *land-use* e di trasporto in modo che siano complementari, anziché contraddittorie. È quindi

²⁰ Il termine metropolizzazione si riferisce a quel processo che tende ad investire le aree non urbane del territorio con le condizioni ed i problemi tipici delle metropoli, quali ad esempio congestione, inquinamento, aumento dei costi del suolo e delle abitazioni, etc.

²¹ Beimborn et al., 1991.

²² Newman e Kenworthy, 1996.

²³ De Luca, 2000.

necessario comprendere come gli specifici modelli di pianificazione territoriale interessano il trasporto²⁴.

Nonostante l'evidente interrelazione tra il sistema di trasporto e l'evoluzione del sistema urbano, già discussa in precedenza, la pianificazione dei trasporti e la pianificazione urbanistica spesso seguono due strade distinte; in particolare:

- per la pianificazione dei trasporti, l'assetto del territorio esistente e futuro rappresenta un dato di input per la programmazione dell'offerta di trasporto, cioè si esamina l'influenza del sistema attività sui trasporti;
- la pianificazione urbanistica accetta passivamente il progetto del sistema di trasporto come vincolo esterno dal piano e non come elemento fondante da coordinare con l'organizzazione futura dell'uso del suolo.

È evidente quindi la necessità di definire approcci e metodi rivolti ad una forma più collaborativa e di coordinazione tra le strategie urbanistiche e quelle trasportistiche; si parla infatti di pianificazione integrata trasporti-territorio, che operi per "obiettivi" e non per "aree di competenza".

Il tema dell'*integrazione* tra i gli usi del suolo ed i trasporti è molto ricorrente ma anche non specificatamente definito; solo in tempi recenti²⁵ è stato esaminato il suo significato, sia da un punto di vista teorico che operativo ed è stata stabilita una gerarchia tra i termini cooperazione, coordinazione ed integrazione, spesso usati indistintamente.

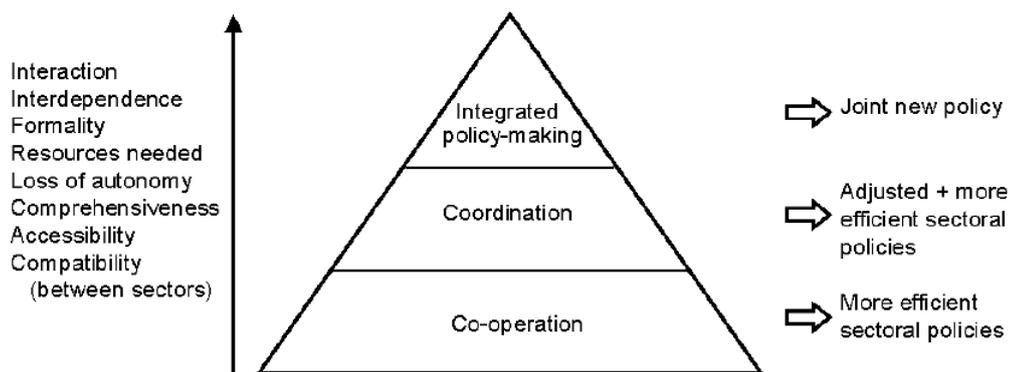


Fig. 9 – Distinzione tra cooperazione, coordinazione ed integrazione delle politiche (Stead e Meijers, 2004)

²⁴ Litman, 2007.

²⁵ Stead e Meijers, 2004.

È evidente che le strategie e le azioni integrate per raggiungere scenari “desiderati” devono scaturire da un’attenta valutazione dei processi di mutamento del sistema trasporti-territorio. D’altra parte l’interazione tra i trasporti ed il territorio è mutevole, complessa, reciproca, condizionata dall’economia e dalla struttura demografica²⁶.

A tal fine è necessario innanzitutto prevedere gli impatti di politiche, strategie ed interventi, poi confrontare le eventuali opzioni ed infine scegliere l’alternativa migliore.

Per far ciò risulta indispensabile comprendere le complesse relazioni tra il sistema delle attività e quello dei trasporti.

L’analisi modellistica può essere un sostegno al processo decisionale e di formulazione di strategie; ovviamente i modelli non sono pienamente realistici e precisi poiché la semplificazione della realtà porta all’omissione di alcune interazioni ed all’approssimazione di altre. Nonostante ciò, i modelli sono considerati strumenti utili a supporto delle decisioni, nei processi di pianificazione e quando è utile simulare relazioni complesse.

3.1. Aspetti normativi

Com’è noto, in Italia i livelli di pianificazione coincidono con i livelli della struttura politico-amministrativa (Stato, Regioni, Province, Comuni); anche se prevista dalla legge, la pianificazione territoriale nazionale non è mai stata realizzata. Sono invece più diffusi i piani settoriali di livello nazionale e tra questi in particolare i piani dei trasporti.

Il processo di pianificazione dei trasporti si compone di una successione di documenti, ognuno dei quali è l’atto finale di un segmento del processo decisionale; tali documenti sono classificabili in base alla scala temporale (strategica o tattica) ed al livello territoriale (nazionale, regionale, locale).

La pianificazione strategica si riferisce ad un orizzonte temporale lungo (10 anni) ed attiene ad interventi normativi, organizzativi ed infrastrutturali che incidono in maniera rilevante sulla struttura del sistema dei trasporti; nello specifico tali interventi possono riguardare: l’entità complessiva delle opportunità offerte per spostamenti di persone e merci, la loro localizzazione nello spazio, la

²⁶ De Luca, 2000.

varietà di modalità offerte, le prestazioni in termini di costi e tempi di spostamento, di sicurezza, di impatto sull'ambiente.

Invece la pianificazione tattica riguarda la gestione del sistema dei trasporti nel breve periodo (3-5 anni) e cioè l'uso ottimo delle risorse infrastrutturali, umane ed organizzative disponibili al fine di consentire alla domanda di mobilità attuale di essere integralmente soddisfatta.

Su entrambe le scale temporali il processo di pianificazione prevede tre livelli territoriali: nazionale, regionale e locale.

La scala nazionale riguarda spostamenti di persone e cose tra le diverse regioni e con l'estero. La competenza istituzionale è esercitata al livello strategico dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con i suoi uffici periferici (Motorizzazione, ecc.), ed al livello tattico attraverso la stipula di contratti di concessione e contratti di servizi (RFI, ANAS, ecc.).

Invece la scala regionale riguarda la mobilità che si esaurisce all'interno dei confini di ciascuna regione, ma non all'interno dei singoli comuni. Le competenze sono principalmente della Regione ma i Ministeri conservano la responsabilità della sicurezza e delle scelte riguardanti i segmenti del sistema nazionale interni ad ogni regione.

La scala locale è quella della mobilità quotidiana che si risolve all'interno di un comune o di più comuni adiacenti e strettamente integrati. Le competenze nel settore dei trasporti sono dei Comuni e delle Province.

Ad ogni livello territoriale, la pianificazione strategica segue tre stadi: Piano Direttore (PNT, PRT e PUM), Piani Attuativi (Piani di Settore), Studi di Fattibilità.

La pianificazione tattica si articola per modo di trasporto, con strumenti diversi in relazione al livello territoriale di riferimento ed al soggetto cui è affidata la gestione delle infrastrutture e dei servizi.

I principali strumenti per la Pianificazione dei Trasporti sono dunque:

- Piano Generale dei Trasporti e della Logistica - PGTL
- Piano Regionale dei Trasporti - PRT
- Piano Urbano della Mobilità - PUM
- Piano Urbano del Traffico - PUT

A livello locale la pianificazione dei trasporti è dunque affidata a PUM (piano strategico di medio-lungo termine) e PUT (piano tattico di breve periodo).

Allo stato attuale l'Italia non è dotata di uno strumento in grado di porre in relazione le politiche urbanistiche e quelle di trasporto, soprattutto a livello locale.

Il piano urbanistico potrebbe fare molto per porre in relazione le possibilità edificatorie e l'uso del suolo con la disponibilità dei diversi modi di trasporto, ma spesso non vengono fornite indicazioni dirette e si rinvia ad altri strumenti gerarchicamente più autorevoli, quali il Piano dei Trasporti ed il Piano Territoriale di Coordinamento. Ma tali strumenti non sono efficaci per controllare l'effettivo uso del suolo in relazione al funzionamento del sistema della mobilità, poiché di competenza di altri enti e anche perché hanno tempi, finalità e modalità di controllo diversi e non coincidenti con quelli del piano urbanistico.

Dunque l'integrazione tra i piani più importanti (PRG e PUT/PUM) spesso si limita ad una dichiarazione liberatoria²⁷.

Un primo accenno di integrazione tra pianificazione territoriale e del sistema dei trasporti può riscontrarsi nell'ambito della stagione di programmazione di alcuni sistemi territoriali di area vasta promossa nel 2006 dal Dipartimento per il coordinamento dello sviluppo del territorio (DICOTER) del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, che favorisce la complementarietà e la sinergia di due documenti strategici: Piano Strategico e PUM.

Il Piano Strategico è uno strumento mediante il quale le città e le società locali possono costruire il disegno politico dello sviluppo, di medio-lungo periodo, urbano e di area vasta, che persegue la competitività in chiave sovra-locale tramite la costruzione di patti tra gli attori istituzionali, sociali ed economici nella città e nel suo territorio e tramite la promozione di reti di alleanze, nazionali e transnazionali, tra città e tra territori.

I Piani Urbani della Mobilità sono "progetti integrati del sistema di mobilità", introdotti nell'ordinamento italiano nel 2000 (Legge n. 340), che comprendono un insieme organico di interventi materiali e immateriali tesi a soddisfare i fabbisogni di mobilità della popolazione, abbattere i livelli di inquinamento atmosferico ed acustico, ridurre i consumi energetici, aumentare i livelli di sicurezza del trasporto e della circolazione stradale, minimizzare l'uso individuale dell'automobile privata e moderare il traffico, incrementare la capacità di trasporto, aumentare la

²⁷ Di Giampietro, 2000.

percentuale di cittadini trasportati dai sistemi collettivi, ridurre i fenomeni di congestione, favorire l'uso di mezzi di trasporto alternativi.

Nell'ambito della formazione contestuale e sinergica dei due strumenti strategici (da parte di 26 AA.LL. leader selezionate dal DICOTER), si ha che:

- al Piano strategico spetta declinare gli obiettivi e le azioni di medio-lungo periodo atti a rafforzare sia il sistema territoriale, come nodo della rete infrastrutturale di rango nazionale ed europeo, sia le specifiche linee di azione locali;
- al Piano di Mobilità spetta definire l'insieme di interventi sul sistema della mobilità, funzionali ad ottimizzare le modalità di governo dei flussi esistenti e previsti in funzione delle scelte adottate dal Piano strategico.

Questa iniziativa costituisce solo un primo passo verso la reale integrazione tra politiche territoriali e dei trasporti, sia perché fornisce indicazioni generiche ma soprattutto perché limitata ad un numero ridotto di enti locali.

All'estero invece sono numerosi i casi di sostanziale regolamentazione dell'integrazione tra pianificazione territoriale e dei trasporti.

3.2. Esempi stranieri

In diversi paesi già da tempo si sono affermati paradigmi di integrazione tra politiche dei trasporti e politiche territoriali, di riduzione e moderazione del traffico, di sostenibilità; in particolare si sperimentano politiche urbanistiche tese alla integrazione di funzioni e usi del suolo, in grado di ridurre la necessità degli spostamenti e la dipendenza dall'auto, nonché politiche di riduzione degli standard dei parcheggi. Si riportano brevemente nel seguito i casi di Gran Bretagna, Francia²⁸ e Stati Uniti per quanto attiene al TOD.

3.2.1. Gran Bretagna

In merito all'integrazione normativa tra la pianificazione urbanistica e quella della mobilità in Gran Bretagna vi sono numerosi *Planning Policy Statements* che, a livello nazionale, ne evidenziano l'importanza e stabiliscono le caratteristiche.

²⁸ Di Giampietro, 2000; Bresciani, 2007.

Nel 1997 la PPG1, la prima *Planning Policy Guidance (Sustainable Development)*, prevede l'integrazione tra i programmi sui trasporti e le politiche di sviluppo urbano al fine di ridurre la domanda di mobilità motorizzata, incoraggiando modi di trasporto alternativi. In particolare essa contiene suggerimenti relativi alla localizzazione di insediamenti in funzione dei modi di trasporto disponibili e viceversa.

La PPG3 (*Housing*) pubblicata nel 2000 contiene indicazioni relative alle possibili strategie per limitare gli spostamenti nella pianificazione di nuovi insediamenti, favorendo l'urbanizzazione di aree depresse e l'uso del trasporto pubblico locale (TPL).

La PPG6 (*Town Centers and Retail Developments*) del 1993 esamina la questione degli insediamenti commerciali, evidenziando l'importanza del loro mix funzionale e della loro accessibilità attraverso modi di trasporto sostenibili.

Nel 1992 venne introdotta la PPG12 che, approfondendo il ruolo dei *Development Plans* nel sistema di pianificazione, stabilisce la necessità dello loro integrazione con il *Local Transport Plan*, al fine di coordinare sviluppo sostenibile, politiche di uso del suolo e dei trasporti. Tale integrazione è condizione necessaria per l'attribuzione dei finanziamenti, pertanto non può essere omessa.

A seguito della pubblicazione del Libro Bianco sui trasporti, la PPG6 (*Transport*) del 2001 tratta il tema dell'integrazione tra pianificazione urbanistica e della mobilità; l'obiettivo è di guidare lo sviluppo urbano verso zone servite dal TPL, riducendo così la dipendenza dall'automobile.

Oltre alle indicazioni nazionali fin qui esposte, vi sono altri documenti relativi all'integrazione tra politiche di uso del suolo e dei trasporti, tra cui spicca il rapporto *Towards an Urban Renaissance*²⁹ che, riprendendo i temi del Rapporto Buchanan, definisce la città sostenibile con riferimento alle modalità di distribuzione delle densità insediative sul modello della città compatta, all'introduzione di sistemi di trasporto pubblico ambientalmente compatibili, all'integrazione di diverse destinazioni d'uso.

Nell'ambito delle proposte di grandi interventi edilizi in Gran Bretagna si richiede la valutazione preventiva degli impatti, ovvero l'analisi delle conseguenze che essi avranno sul sistema della mobilità; tale pratica è nota

²⁹ Urban Task Force, 1999

come *Transport Impact Assessment*³⁰. Inoltre viene spesso raccomandata la progettazione integrata di tali interventi con una scelta del mix funzionale in grado di ridurre la necessità di spostamenti, di garantire l'accesso con modalità alternative all'auto e di migliorare l'integrazione sociale dei nuovi interventi. Dunque il progetto di grandi interventi deve influenzare in maniera sostenibile il sistema della mobilità, limitando la dipendenza dall'auto; deve esserci quindi coerenza e compatibilità tra investimenti nei trasporti e politiche di uso del suolo³¹.

Inoltre mediante il *Road Traffic Reduction Act 1997*³², una legge per la riduzione del traffico stradale, si impone alle autorità locali di predisporre un piano per la riduzione del traffico, con l'obiettivo di migliorare l'uso delle strade esistenti e ridurre al minimo la costruzione di nuove infrastrutture.

Sempre a livello locale, un documento del Governo inglese³³ prende posizione a favore della integrazione tra politiche di trasporto e politiche di uso del suolo con l'obiettivo di promuovere delle scelte di trasporto più sostenibili e ridurre la necessità di spostamento, e in particolare, l'uso dell'auto privata. Tali politiche contribuiscono ad una strategia globale per lo sviluppo sostenibile; sono orientate anche alla promozione dell'inclusione sociale in area urbana e rurale, e alla rivitalizzazione dei centri delle città e dei paesi come posti in cui vivere.

Tra le principali politiche di pianificazione locale e di uso del suolo individuate dal documento inglese, ci sono:

- complementarità tra scelte (e investimenti) urbanistiche e dei trasporti
- concentrazione della domanda di trasporto nei centri urbani, e intorno ai principali nodi del TPL
- accessibilità pedonale e ciclistica alle attrezzature di uso quotidiano
- concentrazione di densità residenziali e di altri usi nelle aree urbane esistenti, accessibili con modalità alternative all'auto privata
- concentrazione di funzioni, nelle aree rurali, intorno ai centri di servizi, come punti focali degli insediamenti
- revisione degli standard dei parcheggi e delle politiche della sosta

³⁰ IHT, 1994.

³¹ DETR, 1998.

³² DETR, 1997.

³³ DETR, 1999.

- priorità a pedoni ciclisti e trasporto pubblico (più spazio stradale; accesso privilegiato)
- adeguata considerazione dell'accessibilità per disabili e utenza debole
- protezione di corridoi e nodi infrastrutturali di trasporto, a tutela delle scelte future.

In particolare, con riferimento alla revisione della dotazione di standard di parcheggi per i nuovi interventi, le raccomandazioni a livello nazionale in Gran Bretagna hanno portato ad un diverso punto di vista, spostando lo standard dal concetto di minimo richiesto a quello di massimo consentito. Gli standard adottati, infatti, sono finalizzati nei grandi progetti alla riduzione della dipendenza dall'auto e a promuovere delle scelte di trasporto sostenibili.

3.2.2. Francia

Una uguale attenzione per la valutazione preventiva degli impatti e per la necessità di verificare coerenze e compatibilità tra investimenti nei trasporti e politiche di uso del suolo, seppur con approccio differente, è richiesta in Francia nella redazione del *Plan d'Occupation du Sol* (POS) della fascia a ridosso delle strade di grande comunicazione, previsto dalla legge Barnier-Dupont del 1995³⁴.

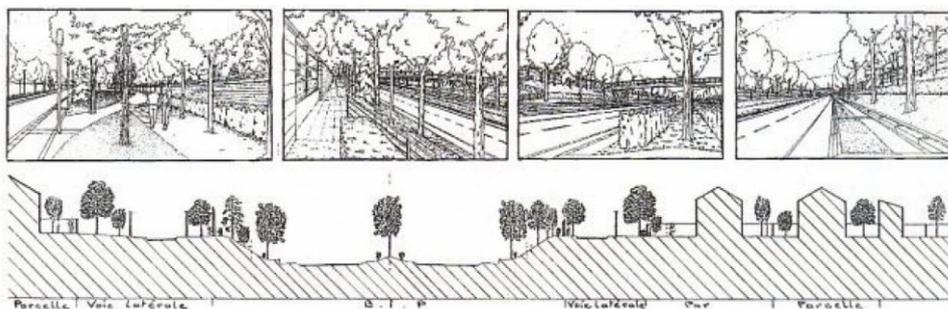


Fig. 10 - Integrazione urbana del boulevard intercomunale del Paris (CERTU, 1997)

Questa legge francese, che da una parte pone l'attenzione del pianificatore sul rischio che le grandi infrastrutture di trasporto possano diventare dei detrattori ambientali per il territorio attraversato, mette anche in luce le loro potenzialità come occasione urbanistica per la qualificazione dello stesso territorio e per la strutturazione del sistema insediativo.

³⁴ Francia, L.95-101.

Grazie ai vincoli imposti dalla legge intorno ai grandi assi stradali, si è sviluppata in Francia una interessante riflessione sul ruolo strategico, strutturante l'urbanizzazione, che possono svolgere i *boulevards urbains*, cioè strade di grande traffico che possono valorizzare le proprietà limitrofe se concepiti in relazione alle diverse funzioni urbane alle tipologie edilizie delle proprietà prospicienti.

Secondo il *Plan d'Occupation du Sol* la definizione della strada e del suo intorno spetta non solo agli ingegneri ma anche ad architetti, urbanisti e paesaggisti. L'attenzione non è più rivolta solo allo spazio della strada in senso stretto (carreggiata e marciapiedi) ma riguarda anche una vasta fascia di pertinenza che, in Francia, arriva ad abbracciare il sistema insediativo, urbanistico, paesaggistico, ed edilizio adiacente.

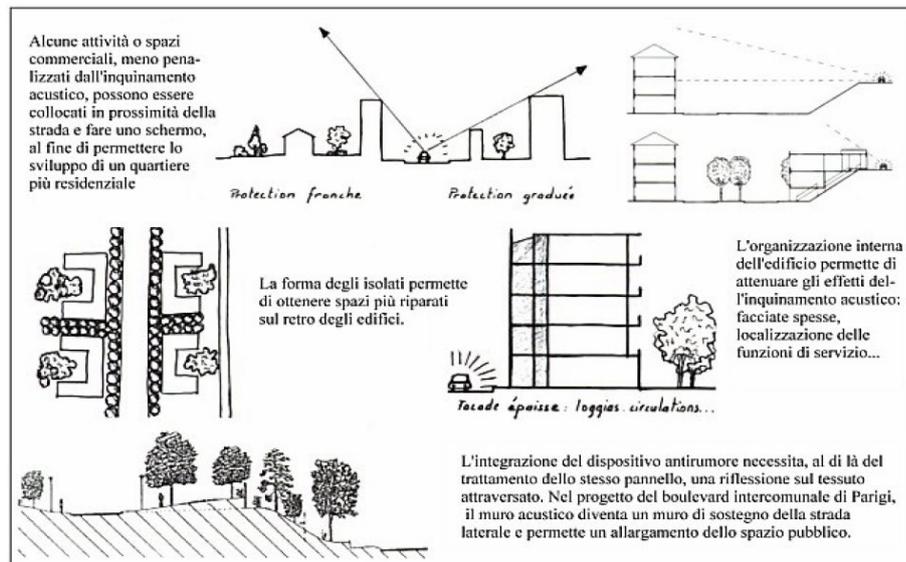


Fig. 11 - Indicazioni per la riqualificazione dello spazio stradale (CERTU, 1997)

Dunque l'oggetto della progettazione non è più solo la strada ma anche le tipologie edilizie, gli allineamenti, le vedute prospettiche, il sistema verde dei boulevard e dei controviali, portici, passeggiate pedonali e spazi riservati alla sosta, al TPL, alle biciclette, alle auto.

In accordo con i principi di *traffic calming*, la progettazione e la percezione dello spazio stradale e del suo intorno vengono proposte anche come strumento di moderazione del traffico al fine di indurre un corretto comportamento del guidatore, quindi come elemento di sicurezza attiva in ambito urbano.

Da un punto di vista legislativo, il governo francese prevede l'integrazione tra documenti di pianificazione urbanistica e di mobilità; nello specifico la legge urbanistica *Loi sur la solidarité et le renouvellement urbains* (SRU) emanata nel 2000 prevede due strumenti: lo *Schéma de Cohérence Territoriale* (SCOT) ed i *Plans Locaux d'Urbanisme* (PLU). Questi documenti vanno integrati con il *Plan de Déplacements Urbains* (PDU), già introdotto nel 1982, avente il compito di definire i principi di organizzazione dei trasporti, del traffico e dei parcheggi nell'area urbana, prima con valenza strategica poi a breve-medio termine dopo l'introduzione dello SCOT. Quest'ultimo infatti definisce gli obiettivi delle politiche urbanistiche in merito agli spostamenti di persone e merci, alla sosta e fissa l'equilibrio tra lo sviluppo urbano ed il sistema dei trasporti, tracciando le infrastrutture da realizzare. Il PDU quindi fa riferimento allo SCOT per definire le misure necessarie a perseguire le linee strategiche; inoltre il PLU deve essere coerente sia con il PDU che con lo SCOT.

In Francia l'attuale integrazione tra urbanistica e mobilità è anche dovuta ad attività nazionali di promozione, come il programma *Ville plus sûre, quartiers sans accidents* avviato nel 1984 con l'obiettivo di favorire nuove pratiche di gestione degli spazi urbani, incoraggiando l'interdisciplinarietà tra varie figure professionali, e tecniche innovative di riqualificazione stradale.

Altra interessante esperienza è l'iniziativa comunale dei *quartiers verts* a Parigi, relativa all'estensione a livello di quartiere delle Zone 30, che prevede un elevato grado di concertazione tra i soggetti coinvolti.

3.2.3. Il *Transit Oriented Development* americano

Come esperienza extra-europea è necessario citare il movimento americano del New Urbanism, che ha posto al centro dell'attenzione del pianificatore la necessità di ridurre il traffico sulle strade e il tasso di crescita della mobilità indotta da modelli insediativi e di uso del suolo non sostenibili. I Principi di Ahwahnee enunciati nel 1994 hanno indicato la necessità di integrazione tra sistemi insediativi, infrastrutture di trasporto, destinazioni d'uso e mix funzionale, finalizzati alla riduzione delle necessità di spostamento e del consumo di risorse, alla valorizzazione delle risorse locali e dell'ambiente esistenti.

Il movimento del New Urbanism americano propone scelte di piano e progettazione volte a favorire uno sviluppo metropolitano policentrico, i cui poli

sono i *Transit Villages* ovvero comunità urbane ad alta densità e *mixité* funzionale che si sviluppano intorno alle stazioni della rete su ferro; tale approccio è sintetizzato nel cosiddetto *Transit Oriented Development* (TOD). Secondo tale approccio i quartieri vengono strutturati intorno alle linee del trasporto pubblico al fine di ridurre la necessità di mobilità, di aumentare la quota servita da modalità alternative all'auto privata e di integrare le funzioni urbane (Calthorpe, 1993; Kelbaugh, 1997).

Nel dettaglio, il TOD si può definire come una "pratica di densificazione nelle aree delle stazioni esistenti e di progetto" (Calthorpe, 1993); la realizzazione di nuove stazioni o la riqualificazione di stazioni esistenti diventano quindi occasione di riqualificazione urbana e di riorganizzazione degli assetti insediativi.

Le principali cause che hanno contribuito alla diffusione delle pratiche del TOD riguardano i processi di diffusione e dispersione insediativa, la congestione, i consistenti investimenti in infrastrutture di trasporto su ferro in ambito urbano e regionale, la crescente consapevolezza del ruolo delle aree delle stazioni come determinante nell'organizzazione dei sistemi urbani (Bertolini 1999).

Le finalità del TOD sono volte allo sviluppo "compatto" nelle aree di influenza delle stazioni, a migliorare la qualità e la vivibilità delle aree di stazioni, ridurre lo *sprawl* urbano, incrementare la sicurezza e favorire lo sviluppo economico; inoltre mediante il *Transit Oriented Development* si favorisce l'uso del trasporto collettivo su ferro, riducendo di conseguenza l'utilizzo delle auto private e l'inquinamento atmosferico, e si agevola l'interscambio modale.

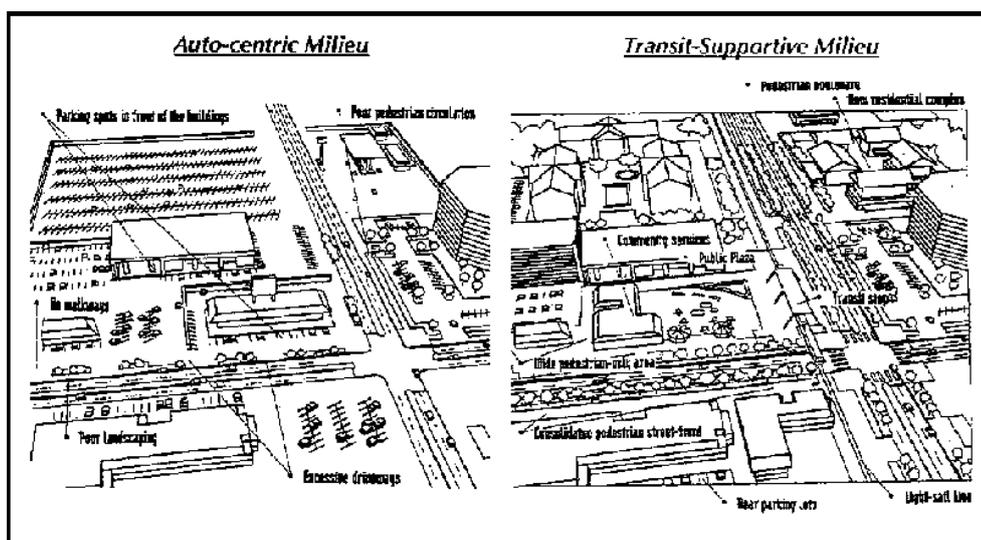


Fig. 12 - Rappresentazione dell'approccio progettuale nella conversione di un quartiere orientato all'uso dell'auto in uno volto all'uso del trasporto pubblico (Bernick e Cervero, 1997).

Appare inoltre interessante la forma comunicativa utilizzata poichè, al posto delle complesse e prescrittive *zoning regulations*, viene utilizzato il linguaggio grafico sintetico e progettuale delle *Design Guidelines*, in grado di esplicitare in maniera immediata la relazione tra scelte localizzative, scelte infrastrutturali e tipologie architettoniche sul territorio.

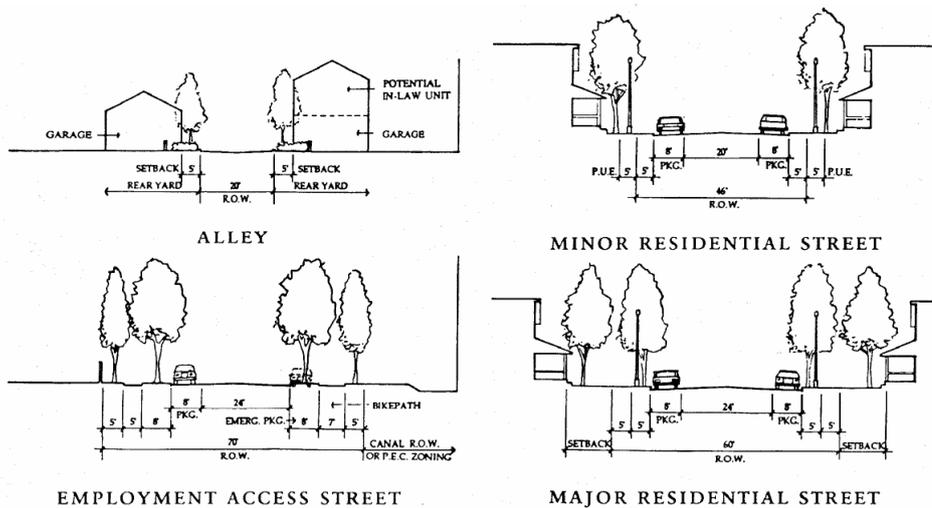


Fig. 13 - Sezioni stradali tipo per il villaggio di Brentwood in California (Calthorpe, 1993)

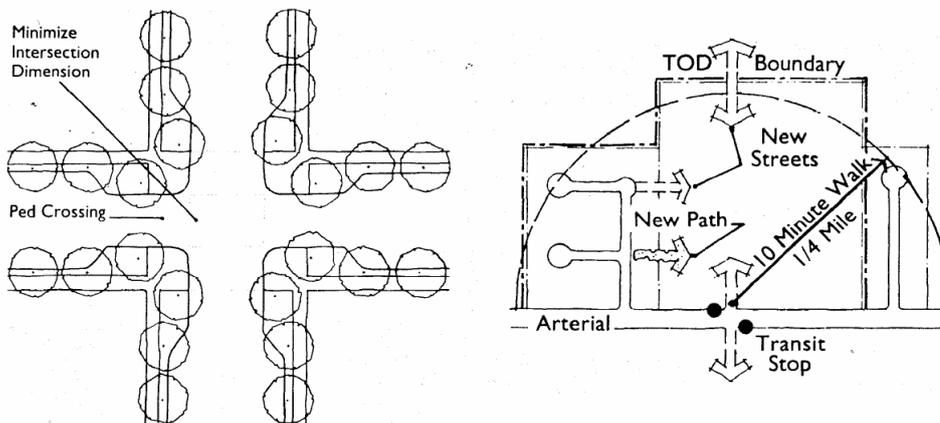


Fig. 14 - Indicazioni sul rapporto tra insediamenti e infrastrutture di mobilità (Calthorpe, 1993)

3.2.4. Gli effetti del TOD in Europa

La diffusione del TOD negli Stati Uniti ha prodotto, in Europa, studi sulle *Transport Development Areas (TDA)*; il primo è stato redatto nel 2000 dal RICS³⁵

³⁵ Royal Institution of Chartered Surveyors

in Gran Bretagna. Nel documento finale³⁶ le TDA sono definite come “un nuovo approccio integrato tra il governo della mobilità ed il governo delle trasformazioni urbane che ha applicazione nei nodi del trasporto pubblico e in tutti i luoghi strategici ad elevata accessibilità”.

Nel suddetto studio emerge la necessità di integrare, alle diverse scale territoriali, gli strumenti per la pianificazione urbana e gli strumenti per il governo della mobilità, considerando i particolari contesti in cui le aree di stazione si trovano.

La principale differenza tra l'approccio statunitense e quello inglese consiste nel fatto che, mentre il TOD non è sempre contestualizzato nel quadro normativo di riferimento e nel sistema territoriale di appartenenza, lo studio inglese fa riferimento ad un nuovo modo di interpretare, orientato a trasformare, le aree urbane ad alta accessibilità, definito *TDA approach*. In termini operativi questo si traduce nella definizione per ogni livello di pianificazione (nazionale, regionale e locale) di strategie, linee guida, metodi e tecniche per seguire e mettere in pratica i principi del nuovo approccio alla pianificazione integrata. Va puntualizzato che il *TDA approach* non prevede la definizione di nuove norme urbanistiche o nuovi strumenti di pianificazione, ma fa riferimento alla necessità della cooperazione e dell'impegno da parte autorità locali e dei soggetti coinvolti nel processo di trasformazione urbana.

Inoltre lo studio del RICS propone di incorporare, all'interno dei piani (regolatori, provinciali, etc.), tre fasi operative: conoscenza e individuazione delle aree, analisi territoriale e definizione del piano, al fine di approfondire l'individuazione e trasformazione delle *TDA*.

La prima fase, relativa alla conoscenza, è volta all'individuazione delle aree, allo studio del potenziale di sviluppo urbano e alla capacità del mercato di promuovere e supportare un'eventuale densificazione. Poi la fase di analisi ha l'obiettivo di individuare gli elementi caratterizzanti dell'area sia per quanto attiene all'uso del suolo, sia in termini di accessibilità. Infine la fase di definizione delle scelte di piano si svolge attraverso un processo di coordinamento e partecipazione dei vari *stakeholders* ed in particolare dei soggetti interessati alla trasformazione delle aree stesse.

³⁶ RICS, 2002.

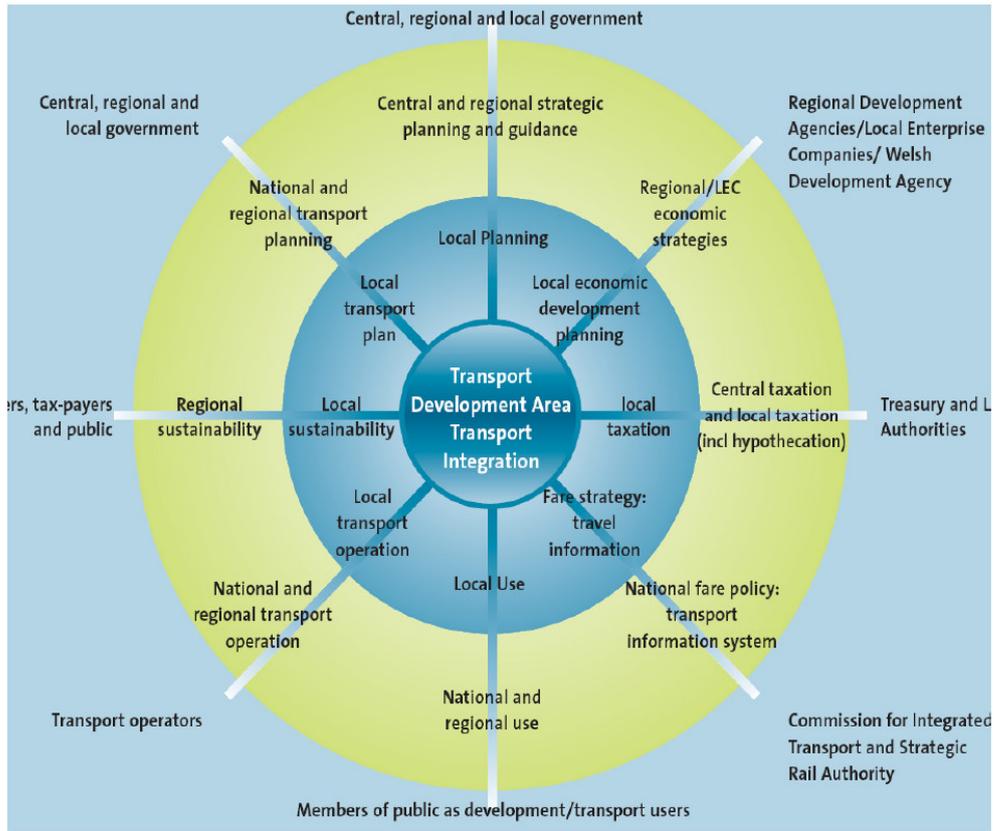


Fig. 15 - TDA approach (RICS, 2002)

La ormai chiara necessità di integrare la pianificazione territoriale e dei trasporti non si esplica solo da un punto di vista normativo ma è fondamentale, per la sua coerenza con gli obiettivi che ci si propone, esaminarla anche da un punto di vista quello operativo ed applicativo. Pertanto il capitolo che segue riguarda i modelli di simulazione dell'interazione trasporti-territorio.

Capitolo 2

MODELLI DI INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

1. Caratteristiche ed utilità dei modelli di interazione trasporti-territorio

Affinché la pianificazione integrata trasporti-territorio sia realmente efficace, è necessario un corretto coordinamento tra le strategie urbanistiche e quelle trasportistiche; ma perchè sia possibile raggiungimento di scenari attesi, le strategie e le azioni integrate devono scaturire da un'attenta valutazione dei processi di mutamento del complesso sistema trasporti-territorio.

Per far ciò, dopo aver ipotizzato le strategie e gli interventi, è indispensabile prevederne gli impatti e poi confrontare le eventuali opzioni prima di scegliere l'alternativa migliore. In tal modo si articola generalmente un processo decisionale (Fig. 16).

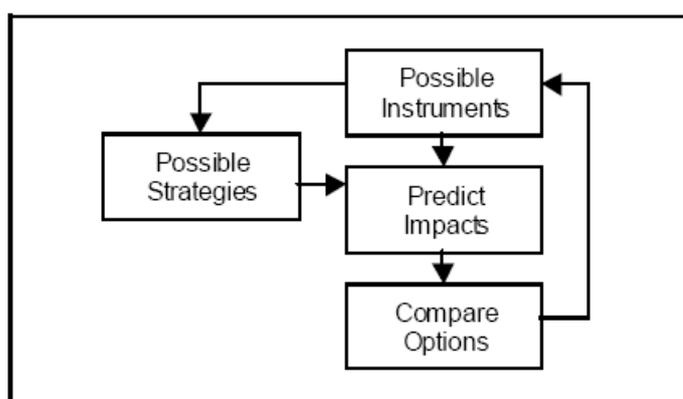


Fig. 16 – Schema del processo decisionale

Nel caso di sistemi complessi è difficoltoso riuscire a stabilire in anticipo quali saranno gli effetti di una determinata politica, strategia o intervento, poiché una singola variazione determina una serie di impatti sulle altre componenti che possono essere immediati, a medio o lungo termine.

A sostegno del processo decisionale, per la di formulazione di strategie, per prevedere gli impatti della pianificazione è dunque necessario comprendere e simulare le complesse relazioni tra il sistema delle attività e quello dei trasporti; tale fase viene spesso supportata dall'analisi modellistica.

Com'è ovvio, la semplificazione della realtà porta all'omissione di alcune interazioni ed all'approssimazione di altre, pertanto i modelli³⁷ non sono totalmente realistici né precisi. Nonostante ciò vengono considerati strumenti utili a supporto delle decisioni, nei processi di pianificazione e quando è utile simulare relazioni complesse.

Nel contesto della pianificazione integrata dei trasporti e del territorio, sono stati sviluppati modelli analitici attraverso i quali è possibile simulare il comportamento del sistema integrato trasporti-territorio. Questi modelli prendono il nome di *modelli di simulazione trasporti-territorio* e sono utilizzati sia per descrivere lo stato del sistema integrato in un particolare istante temporale, ma soprattutto per rappresentare le relazioni dinamiche tra le trasformazioni del territorio e quelle del sistema di trasporto, ovvero per simulare gli effetti dell'evoluzione del sistema di trasporti sul territorio e viceversa.

È necessario chiarire che, a fianco dei modelli di interazione trasporti-territorio, è diffusa la pratica di modellizzazione dei singoli sistemi di trasporto e di uso del suolo; in particolare nel *land-use modelling* la localizzazione delle attività è un output del modello e le politiche di pianificazione sono input; invece nel *transport modelling* l'input è costituito dai dati di *planning*.

I modelli di simulazione trasporti-territorio sono dunque strumenti analitici utili per:

- comprendere le mutue relazioni tra il sistema delle attività e quello dei trasporti;
- fornire stime circa gli impatti di medio e lungo termine sul sistema di uso del territorio e di trasporto;
- supportare la scelta della migliore strategia, valutando le previsioni per la varietà degli scenari selezionati.

³⁷ In generale un modello viene definito come una rappresentazione matematica formale di un sistema reale.

Inoltre un modello di trasporti ed uso del territorio è in grado di:

- riprodurre le variazioni comportamentali degli utenti in risposta ai cambiamenti apportati al sistema di trasporto;
- prevedere come le prestazioni del sistema cambiano in funzione dei diversi usi del territorio;
- capire come tali cambiamenti influenzano i flussi di traffico, la congestione, l'inquinamento;
- comprendere come l'uso del territorio è influenzato dal cambiamento dei costi del sistema di trasporto.

In generale i modelli di simulazione trasporti-territorio sono il risultato della combinazione tra modelli di simulazione spaziale e modelli trasportistici; le principali componenti del modello di sistema integrato sono individuate dai sottosistemi: fisico, dell'offerta di trasporto, della domanda di mobilità e delle attività.

Generalmente il sottosistema fisico si considera come la componente più stabile poiché le variazioni sul sistema delle attività avvengono nel lungo periodo. È necessario però valutare l'impatto di una variazione della localizzazione delle attività e della propria intensità d'uso sulla capacità di attrarre e produrre spostamenti.

Il sottosistema dell'offerta di trasporto è una componente che si ritiene piuttosto stabile per quanto attiene ad interventi di tipo infrastrutturale (come la costruzione di una infrastruttura stradale o ferroviaria) che avvengono nel lungo periodo, mentre quelli di natura gestionale (aumento delle frequenze del bus, creazione di nuovi percorsi) producono impatti anche nel breve periodo. In ogni caso la variazione dell'offerta induce cambiamenti sensibili sulla domanda di mobilità.

Certamente più dinamica è la componente legata al sottosistema della domanda di trasporto, poiché la mobilità di persone e merci riflette cambiamenti in maniera immediata; la domanda di spostamento è infatti una diretta conseguenza della dinamica urbana.

Il sottosistema delle attività riguarda la loro localizzazione ed intensità d'uso, spesso misurato in termini di densità di residenti e addetti per tipologia economica; in effetti la localizzazione dei residenti e degli addetti sul territorio

influisce direttamente sulla distribuzione delle origini e delle destinazioni degli spostamenti.

Poiché lo scopo di tali modelli è quello di supportare le decisioni di pianificazione a lungo termine, questi richiedono molti dati di input e l'implementazione è onerosa poiché il sistema territoriale e quello dei trasporti vengono rappresentati spesso in maniera particolareggiata. Essi necessitano quindi, a causa della loro complessità, di una certa quantità di risorse (umane, economiche e di tempo); d'altra parte queste sono necessarie se l'obiettivo è di simulare nel dettaglio il sistema integrato che è intrinsecamente composito a causa della complessità dei sottosistemi che lo costituiscono e delle interazioni tra essi.

Come si è già visto nel Capitolo 1, *land-use* e sistema dei trasporti sono strettamente connessi in quanto:

- le attività territoriali e le reciproche interazioni generano domanda di trasporto;
 - le attività e le reciproche interazioni sono influenzate dall' offerta di trasporto;
- i legami tra trasporti e attività risultano importanti per la stima delle strategie di pianificazione dei trasporti, in modo particolare considerando il sistema dei trasporti come fattore determinante dell'accessibilità al sistema territoriale.

Come schematizzato³⁸ in Fig. 17, i principali *actors* del sistema integrato trasporti-territorio sono:

- la popolazione residente, ovvero individui e famiglie;
- le aziende e le organizzazioni produttive;
- il governo e le istituzioni.

In particolare, rientrano nelle ultime due categorie: i decisori (*property developers*) ed i fornitori di infrastrutture di trasporto e fornitori di servizi di trasporto, che possono essere sia privati che pubblici.

Dallo schema si evince che i residenti le aziende interagiscono tra loro attraverso i mercati immobiliare, del lavoro, di beni e servizi.

³⁸ London Department of Transport, 2005.

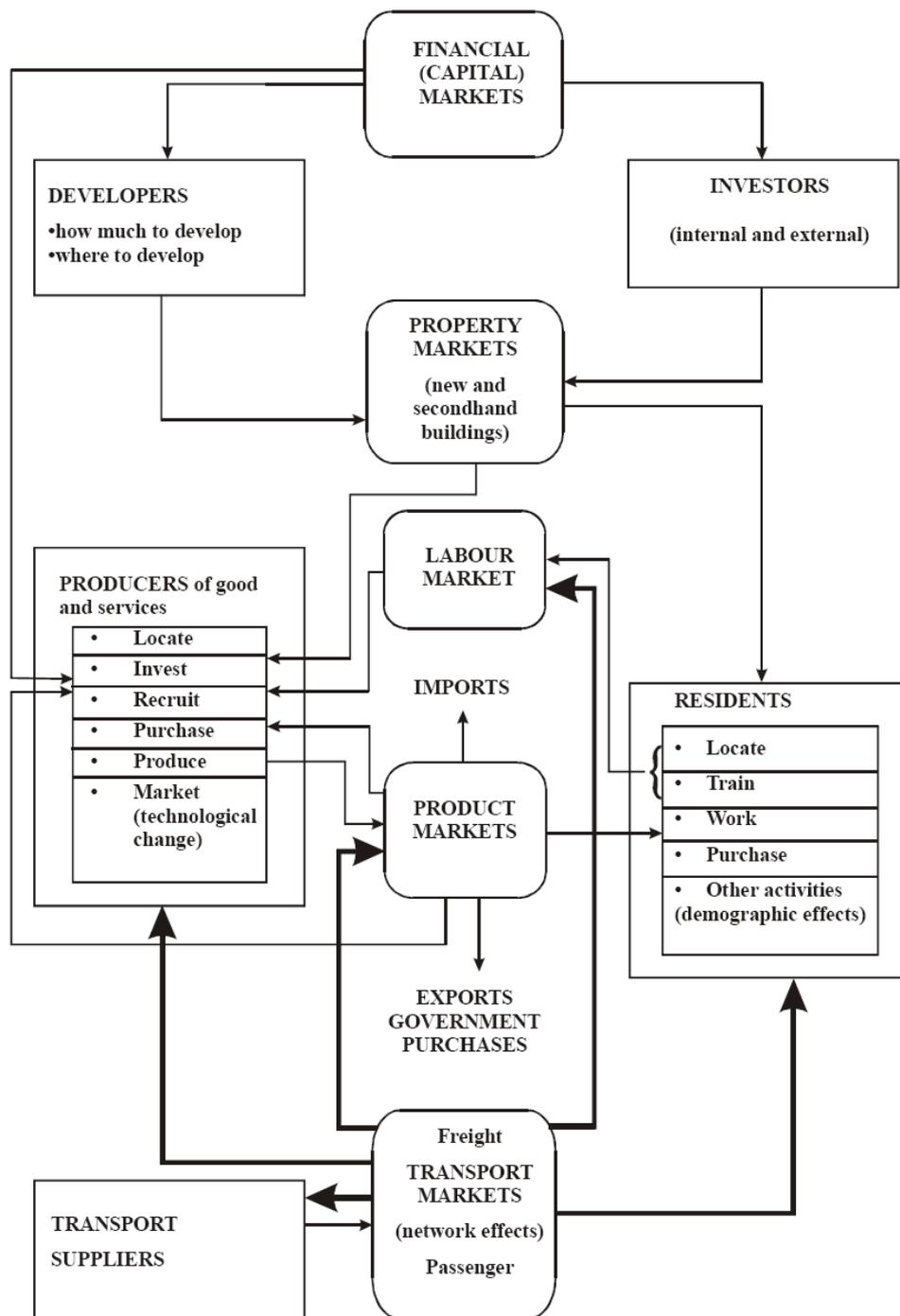


Fig. 17 - Schema delle relazioni tra attori e mercati nei modelli di interazione trasporti-territorio (London Department for Transport, 2005)

Risulta chiaro che il sistema territoriale non è mai statico; inoltre il sistema dei trasporti è solo uno dei fattori che influenzano i suoi cambiamenti. In realtà il trattamento di tutti gli altri fattori (come ad esempio lo sviluppo demografico,

l'andamento dei processi di sviluppo, ecc.) costituisce un elemento fondamentale nella distinzione tra i vari tipi di modelli di simulazione del *land-use*.

Avendo definito gli attori fondamentali del sistema *land-use* (popolazione, aziende e organizzazioni produttive, governo e istituzioni) si può rilevare che il sistema dei trasporti influenza le decisioni dei residenti e delle aziende in vari modi. Poiché residenti ed aziende si influenzano reciprocamente, le trasformazioni del sistema dei trasporti possono anche avere impatti indotti su persone o soggetti aziendali che non hanno alcun interesse diretto nelle trasformazioni del sistema dei trasporti.

Dunque è necessario considerare non solamente la previsione degli impatti sul territorio di interventi nel settore dei trasporti ma anche le implicazioni inverse, ovvero stimando il modo in cui il sistema dei trasporti interviene nelle relazioni tra i differenti attori.

Infine è opportuno evidenziare che un intervento nel settore dei trasporti produce impatti sul territorio che si estendono spazialmente non solo all'interno dell'area interessata dall'intervento stesso: essi possono produrre effetti secondari ed indotti che si estendono ben oltre l'area in cui le variazioni del sistema di trasporto influenzano direttamente l'accessibilità.

2. Classificazione dei modelli di interazione trasporti-territorio

In letteratura sono presenti numerosi modelli di interazione trasporti-territorio (ITT), distinguibili secondo vari criteri e già raccolti in diversi stati dell'arte a seconda della prospettiva adottata per la loro classificazione.

Da un punto di vista storico si sono succeduti tre approcci di modellizzazione³⁹ basati su:

- economia urbana;
- interazione spaziale (modelli gravitazionali);
- utilità aleatoria (modelli di scelta discreta).

I modelli fondati sull'economia urbana sono caratterizzati dalla descrizione del comportamento generale ed aggregato della città; molta attenzione è rivolta

alle ipotesi di base, infatti essi presentano un elevato rigore matematico ma scarso riscontro pratico. I primi modelli di questa tipologia furono sviluppati da Von Thunen (1826) e Weber (1826); nel seguito Christaller (1933) e Losch (1940) inserirono, anche se implicitamente, la considerazione dei costi di trasporto; poi Wingo (1961) e Alonso (1964) vi inclusero elementi di geografia ed infine Beckmann (1968) vi introdusse strumenti di ricerca operativa.

I modelli di interazione spaziale nascono con l'obiettivo di un riscontro pratico ed applicativo; inizialmente la loro formulazione era basata su regole empiriche senza basi teoriche ma successivamente questa lacuna venne colmata. I primi studi di Hansen (1959) erano diretti alla pianificazione urbana di Washington e già allora egli sosteneva che i luoghi accessibili hanno maggiore possibilità di svilupparsi; poi si susseguirono il modello di Lowry (1964), noto come modello gravitazionale, quello di Putman (1973) e poi Lundqvist (1975).

Più recente è la nascita dei modelli di scelta spaziale, fondati sul concetto di utilità aleatoria (o casuale) e basati sulla teoria, introdotta da McFadden nel 1975, di massimizzazione del beneficio, ripresa poi da Ben Akiva e Cascetta. Questi modelli possiedono un comportamento maggiormente disaggregato rispetto a quelli di interazione spaziale.

Infine sono stati sviluppati dei modelli combinati, che inseriscono metodologie proprie dell'ingegneria dei trasporti all'interno di modelli basati sull'interazione spaziale; tra questi i più famosi sono MEPLAN (Echenique et al. 1988) e TRANUS (de la Barra, 1989).

Dei modelli di interazione trasporti-territorio più utilizzati è riportato un funzionale stato dell'arte in Timmermans (2003), che ne distingue tre "generazioni":

- la prima riguarda i modelli basati su dati aggregati e sui principi di gravitazione e massimizzazione dell'entropia;
- la seconda si riferisce ai modelli basati sulla massimizzazione dell'utilità;
- la terza concerne i modelli basati sui microdati e su *activity travel patterns*.

I modelli di prima generazione possono essere "statici", ovvero fornire una visione istantanea del sistema e studiare una variabile tenendo fisse le altre

³⁹ Cascetta et alii, 2000.

(come quello di Lowry), oppure “dinamici”, cioè che tengono conto della dimensione temporale e quindi dell'evoluzione del sistema nel tempo (tra questi vi è LILT⁴⁰ che si basa sul principio di massimizzazione dell' entropia).

Sono tutti dinamici invece i modelli di seconda generazione, tra cui spiccano i pacchetti commerciali più diffusi, quali MEPLAN⁴¹ e TRANUS⁴².

Infine i modelli di terza generazione, che sono alquanto recenti, come DELTA⁴³, focalizzano l'attenzione sui differenti processi di trasformazione che influenzano il sistema delle attività e lo spazio da esse occupato.

Nel seguito verranno dettagliati i principali tipi di modelli di interazione trasporti-uso del suolo utilizzando la classificazione del London Department for Transport (2005) che li ha sistematizzati secondo la struttura ad albero riportata nella Fig. 18.

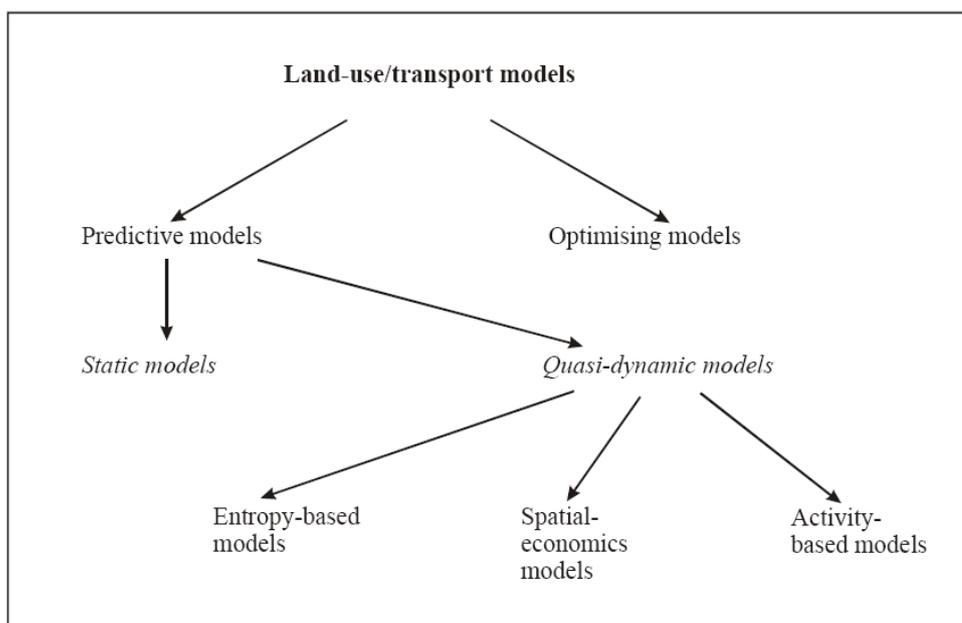


Fig. 18 - Classificazione dei modelli ITT (London Department for Transport, 2005)

Una prima distinzione tra i modelli ITT può effettuarsi differenziando quelli che mirano all'ottimizzazione del sistema urbano dagli altri che tendono a prevedere il suo comportamento.

⁴⁰ Leeds Integrated Land-Use Transport.

⁴¹ prodotto da Marcial Echenique e Partners Ltd (Cambridge).

⁴² sviluppato da De la Barra di Modelistica (Caracas).

I modelli di ottimizzazione hanno come obiettivo quello di far assumere il valore desiderato ad una data funzione; questi trovano scarsa applicazione nella pratica, poiché in genere il progetto è un dato di input fornito dall'utente; questi possono risultare utili ai fini della ricerca ma richiedono elaborazioni onerose per metterli in relazione ai problemi concreti di pianificazione di città o regioni. In considerazione di ciò, questa tipologia non verrà approfondita nel seguito.

I modelli di interazione volti alla previsione dell'evoluzione del sistema territoriale si distinguono a loro volta in statici e dinamici; i primi rappresentano la situazione del sistema in un istante temporale definito mentre quelli dinamici esaminano una serie di periodi in modo che, ad esempio, i cambiamenti del sistema dei trasporti possano manifestare i relativi impatti sul *land-use*.

In letteratura, i primi *Land-Use/Transport Interaction models* (spesso abbreviati in LUTI models) sono di tipo statico e cercano di prevedere la localizzazione di alcune variabili avendo fissato a priori il valore di altre (Lowry, 1964). È evidente come questa tipologia non rappresenti "realisticamente" i processi di trasformazione territoriale che, per propria natura, non sono istantanei ma necessitano di tempo per "reagire" ai mutamenti. Infatti i modelli statici non vengono più utilizzati già dagli anni '80, quando ebbe inizio il progetto ISGLUTI⁴⁴.

I modelli dinamici possono essere a loro volta classificati in base agli approcci teorici utilizzati per la loro formulazione; distinguiamo pertanto:

- modelli basati sulle analogie con la meccanica statistica ed in particolare sul concetto di entropia mutuato dalla fisica, proposti per la prima volta da Alan Wilson negli anni '70;
- modelli ottenuti integrando quelli di stampo economico con un modello di sistema spaziale;
- modelli fondati principalmente sulla rappresentazione dei diversi processi afferenti ai vari tipi di attività considerati.

⁴³ elaborato da David Simmonds Consultancy (UK).

⁴⁴ International Study Group on Land Use Transport Interaction.

2.1. Static models

Come già ribadito, i modelli statici raramente vengono utilizzati già da tempo ma possono trovare applicazione in particolari casi per i quali un modello dinamico risulta non utilizzabile, in particolare:

- come strumento per includere la dimensione relativa all'impatto sul land-use avendo già a disposizione un modello di simulazione del sistema dei trasporti se non si necessita della considerazione della variazione temporale;
- per analizzare la condizione di equilibrio che viene raggiunta dal modello statico, stato in cui si trova il sistema integrato interessante di per sé.

I modelli statici si distinguono in quelli che consentono di valutare lo schema rappresentativo del land-use avendo definito un particolare assetto del sistema di trasporto; mentre altri possono stimare le variazioni dell'uso del territorio a partire da due diverse configurazioni del sistema di trasporto.

Rientra tra quelli della prima tipologia IMREL, sviluppato in Svezia da Anderstig e Mattsson nei primi anni Novanta, che è un modello statico di allocazione che necessita di un modello di trasporto elaborato separatamente. IMREL stima gli stati di equilibrio del land-use corrispondenti ai dati di output del modello trasportistico; in esso la rappresentazione delle politiche avviene limitando il numero di posti di lavoro e di residenti nelle zone. È stato utilizzato sia ai fini della ricerca scientifica che nell'ambito della pianificazione (per Stoccolma e la circostante Mälars Valley).

DSCMOD invece è un modello statico con approccio two-input, formulato nel 1990 da DSC⁴⁵ con il preciso obiettivo di integrare analisi trasportistiche con la componente relativa al land-use. Esso determina i cambiamenti nel land-use dovuti alle diverse accessibilità prodotte da strategie di trasporto alternative; le variazioni di accessibilità influenzano quindi le scelte localizzative.

I modelli statici sono formulati, in genere, per esaminare contesti urbani; una versione "regionale" di DSCMOD è stata formulata per ri-allocare posti di lavoro in funzione di una misura di potenziale economico, basata sull'accessibilità data dal sistema dei trasporti e dal tasso di occupazione nelle zone.

⁴⁵ David Simmonds Consultancy (UK).

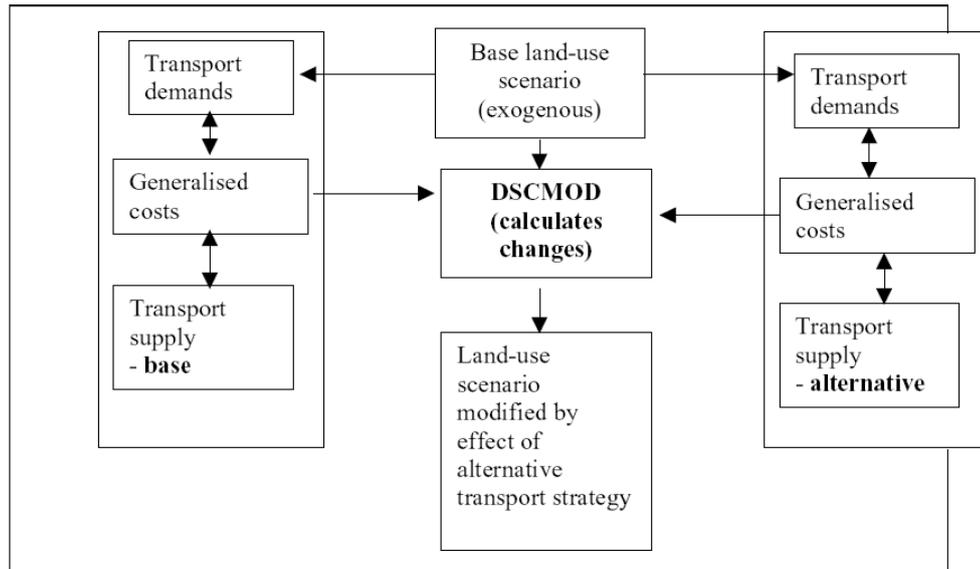


Fig. 19 - Applicazione di DCSMOD (David Simmonds Consultancy, 1999)

2.2. Entropy-based models

L'esempio principale di questa tipologia di modelli è il *LILT package*, formulato da Mackett presso l'Università di Leeds negli anni Ottanta. Esso collega un modello di trasporto a quattro a stadi⁴⁶ con un modello di localizzazione *Lowry-type* e un altro di possesso dell'auto.

Lo scopo principale di questo modello è di "localizzare residenti, nuovi alloggi e posti di lavoro nelle varie zone, considerando gli schemi di land-use esistenti ed i vincoli nonché il costo di trasporto"⁴⁷.

LILT è stato sviluppato specificatamente per la città di Leeds, ma nell'ambito del progetto ISGLUTI fu applicato anche a Dortmund e Tokyo⁴⁸. Tuttavia esso non viene più considerato utilizzabile per nuove applicazioni.

2.3. Spatial-economic models

Questa categoria comprende modelli sviluppati sulla base di ricerche condotte negli anni Settanta presso il Martin Centre della Cambridge University. Tali studi sono stati poi convertiti in pacchetti commerciali quali *TRANUS*, *MEPLAN* e *MENTOR*.

⁴⁶ modello di previsione della domanda di trasporto assai diffuso.

⁴⁷ Webster et alii, 1988.

Ogni pacchetto comprende un modello di land-use ed uno di trasporto multi-modale; l'implementazione è tale che il modello di interazione trasporti-territorio è di tipo dinamico.

Sia MEPLAN che TRANUS sono stati ampiamente applicati sia nell'ambito della pianificazione che per scopi scientifici. Essi sono esempi tipici di modelli basati sull'approccio *interaction-location* (che verrà esposto nel seguito): le interazioni (*economic trades*) tra le attività sono determinate mediante un'analisi del tipo Input-Output, e tenendo conto di tali interazioni viene derivata la domanda di trasporto. Le scelte localizzative, la scelta del modo di trasporto e l'assegnazione sono determinate mediante una struttura di scelta multi-livello basata sulla *random utility theory*⁴⁹. I comportamenti relativi alle localizzazioni di famiglie, aziende e decisori è basato sui mercati competitivi, e le entrate e uscite sono determinate in maniera endogena in ogni periodo di tempo. Inoltre in tali modelli vengono variati gli affitti nelle zone in modo che la domanda non superi la disponibilità di superfici e terreno.

In Fig. 20 è schematizzata la struttura di MEPLAN, che è composto da 4 moduli correlati:

- LUS, relativo al land-use;
- FRED, modulo di interfaccia;
- TAS, riguardante i trasporti;
- EVAL, modulo di valutazione che effettua analisi costi-benefici (per trasporti e land-use) di particolari politiche confrontando con altri casi e produce indicatori di performance del sistema.

Di formulazione più recente è MENTOR, un pacchetto di simulazione del land-use che può interfacciarsi con modelli di trasporto già esistenti. Esso si fonda sulla struttura teorica di MEPLAN ma in esso è stato sviluppato un maggiore livello di dettaglio per quanto riguarda la segmentazione delle attività; inoltre è stato progettato per essere più immediato nella fase iniziale di definizione e calibrazione.

⁴⁸ Mackett, 1990.

⁴⁹ Un possibile metodo di stima dei costi di viaggio è basato sulla *random utility theory* secondo cui all'inizio di ogni nuovo spostamento l'individuo compie scelte discrete.

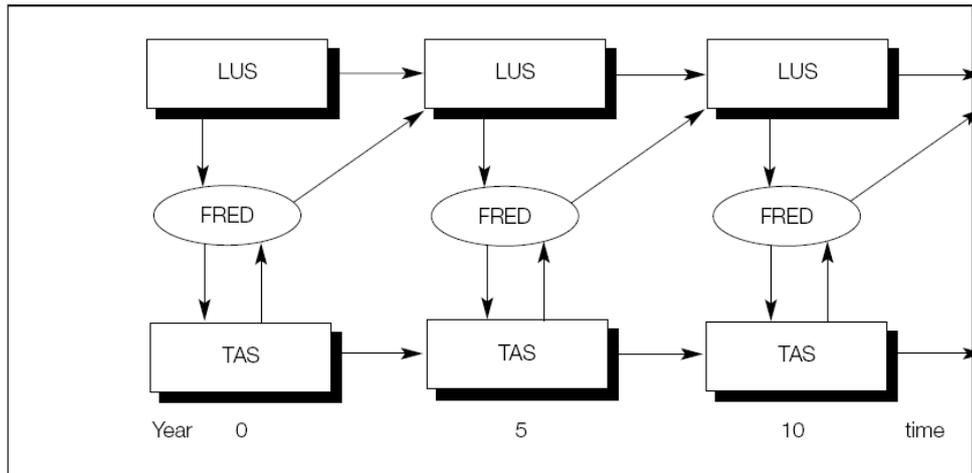


Fig. 20 - Struttura di MEPLAN (David Simmonds Consultancy, 1999)

2.4. Activity models

Viene così denominata questa tipologia di modelli in quanto in essi si pone l'accento sui differenti processi che incidono sulle attività e sugli spazi che queste occupano. Sono modelli fondati sull'approccio *location-interaction* (che verrà discusso nel seguito), caratterizzati da uno spiccato dettaglio nella rappresentazione delle attività e nel trattamento sia di scelte di mobilità che localizzative.

Al contrario delle altre tipologie, questi modelli non rilocalizzano tutte le attività in uno stesso periodo di tempo ma distinguono la fase in cui si decide di trasferirsi (che riguarda solo una parte delle attività) e quella di ricerca di una nuova localizzazione.

Inoltre in questi modelli è inclusa una rappresentazione dei cambiamenti demografici alquanto particolareggiata.

Rientrano in questa categoria: IRPUD, sviluppato da Wegener negli anni Ottanta per la città tedesca di Dortmund per scopi legati alla ricerca scientifica; DELTA, prodotto da DSC dal 1994 e applicato sia in contesti urbani che regionali; URBANSIM utilizzato negli Stati Uniti.

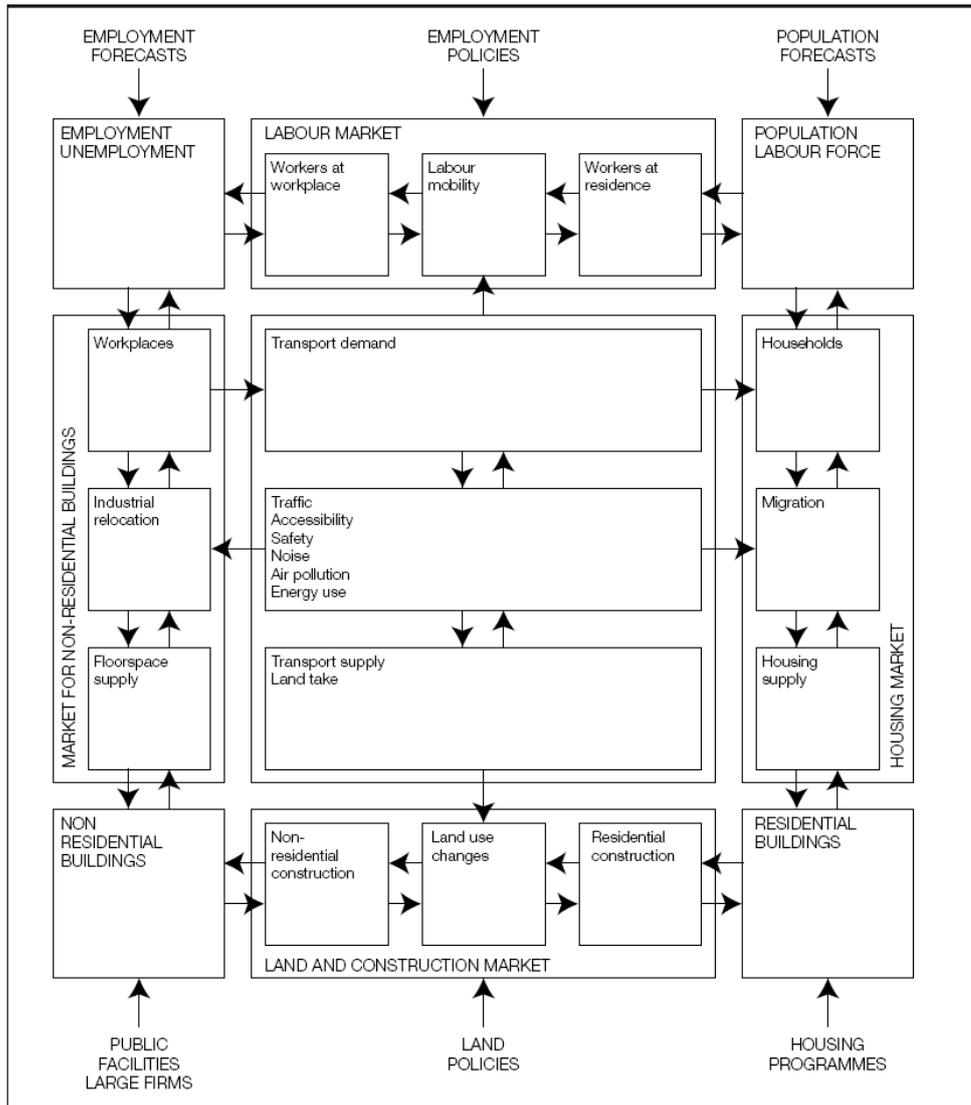


Fig. 21 - Struttura di IRPUD (David Simmonds Consultancy, 1999)

Questi modelli sono stati formulati per essere connessi a modelli di trasporto formulati separatamente, fatto che spesso è risultato problematico. Nel caso di DELTA il suo funzionamento avviene secondo lo schema riportato in Fig. 22.

Nella sua implementazione DELTA comprende cinque sotto-modelli relativi a: Development, Employment status, Location e relocation, Transitions e growth, Area quality; questi si interfacciano come mostrato in Fig. 23.

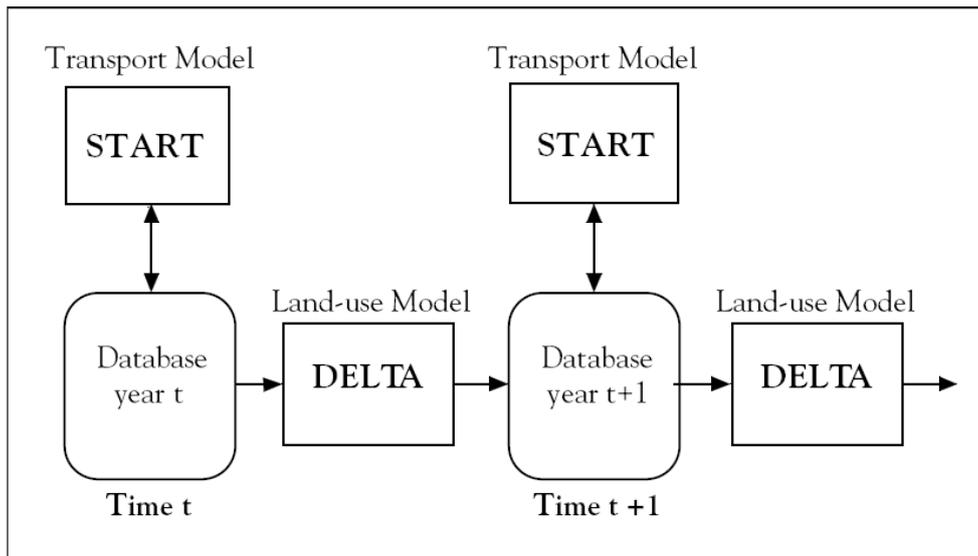


Fig. 22 - Implementazione di DELTA (David Simmonds Consultancy, 1999)

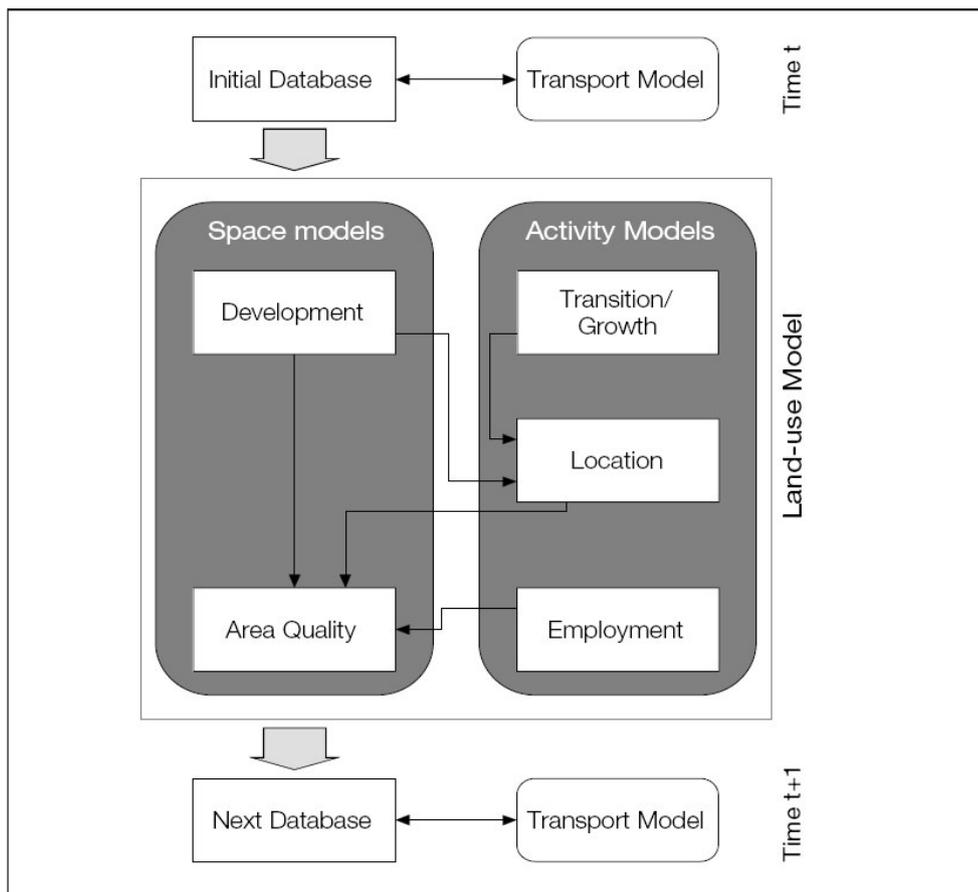


Fig. 23 - Struttura di DELTA (David Simmonds Consultancy, 1999)

2.5. Valutazione dei modelli

Oltre alla pertinenza tra il modello ed il caso studio da simulare con esso, è necessario valutare, prima della scelta del modello da utilizzare, i dati di input di cui questo necessita per la sua corretta implementazione. Questo fattore è fondamentale ai fini dell'applicazione pratica dei modelli fin qui esposti poiché l'indisponibilità di alcuni dati potrebbe rendere inadoperabile il modello stesso.

È opportuno puntualizzare che tutti i modelli ITT necessitano di dati relativi al sistema di trasporto, quali dati di domanda ed offerta, pertanto nel seguito verranno considerati solo i dati che esulano dalla mera simulazione trasportistica ma afferiscono ai sotto-modelli complementari, come ad esempio la simulazione dell'uso del suolo.

Nell'ambito della richiesta di dati, possiamo distinguere:

- dati necessari per l'implementazione del modello, ad esempio quelli che devono essere introdotti affinché il modello rappresenti la città o la regione del caso studio, e che in genere vanno inseriti direttamente nella fase di input per avviare il modello;
- dati o informazioni aggiuntive necessarie per "calibrare il modello", cioè affinché questo riproduca il comportamento del sistema scelto ed i processi che avvengono al suo interno.

La Tabella 6 contiene lo schema sintetico dei dati necessari per l'implementazione dei principali modelli considerati quali IMREL, DSCMOD, DELTA e quelli sviluppati presso il Martin Centre (MEPLAN e TRANUS).

Tabella 6 – Implementazione dei dati nei modelli di interazione trasporti-territorio (London Department for Transport, 2005)

Variable	Static Models		Dynamic Models	
	IMREL etc	DSCMOD	Martin Centre	DELTA
Households/ population	Few categories – to reproduce	Few categories – input as base situation	Few categories – to reproduce	Few or many categories – inputs for base year and earlier
Employment (status of residents)	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Required as input (may be reflected in household categorisation)
Employment (by workplace)	Few categories – to reproduce	Few categories – input as base situation	Few categories – split into exogenous component, input, and endogenous, to reproduce	Few or many categories – inputs for base year and earlier
Floorspace by type	Required for base and alternative situations	Optional	Required for base situation	Required for base situation
Rents	Required for base situation	Optional for base situation	To reproduce by calibration in base situation	Required input for base situation and earlier
Household incomes	not used	Optional for base situation	To reproduce by calibration in base situation	Required input for base situation and earlier
Matrices of labour to work	(in transport model)	(in transport model)	To reproduce by calibration in base situation	Required input for large study areas; also in transport model
Matrices of goods and/or services to consumers	(possibly implicit in transport model)	(possibly implicit in transport model)	To reproduce by calibration in base situation	(possibly implicit in transport model; explicit in regional versions)
Development under construction in base year	see floorspace, above	see floorspace, above	Not required	Input

3. Approcci alla base dei modelli di interazione trasporti-territorio

Risulta utile valutare i *land-use/transport interaction models* a seconda dei criteri fondanti utilizzati nella loro formulazione poiché da questi dipende il modo di collegare le attività e le interazioni spaziali tra esse. Questo metodo di classificazione è importante sia per comprendere i principi alla base di ciascun modello che per capirne le questioni pratiche di implementazione e valutazione delle politiche⁵⁰.

Gli approcci che vengono distinti sono di due tipi:

- l'approccio IL (interaction-location) che considera come variabili chiave le interazioni tra le attività;
- l'approccio LI (location-interaction) in cui viene prevista la localizzazione delle attività sul territorio e di conseguenza si simulano le interazioni tra le attività.

3.1. L'approccio IL (interaction-location)

Come si è detto, in questo approccio le variabili chiave sono le interazioni tra le attività; quindi si procede innanzitutto alla loro previsione e poi la localizzazione delle attività viene calcolata a partire dal livello totale di interazione.

Ad esempio, il numero di famiglie residenti in una zona viene determinato prevedendo del numero di pendolari che si spostano da quella zona ad ogni possibile luogo di lavoro, trovando così il numero totale di occupati per zona, passando poi dal numero di lavoratori al numero di famiglie.

Questi modelli vengono anche detti "integrati" perché la previsione della distribuzione degli spostamenti è condotta interamente nell'ambito dell'unico modello: le due componenti *land-use* e *transport* non possono essere disgiunte.

Rientrano in questa categoria i modelli TRANUS e MEPLAN, entrambi dinamici.

⁵⁰ London Department for Transport, 2005.

3.2. L'approccio LI (location-interaction)

Con questo approccio viene prima prevista la localizzazione delle attività sul territorio e poi vengono simulate le interazioni tra le attività; in tal modo possono simularsi separatamente, mediante sotto-modelli, sia il numero e la localizzazione delle attività che la distribuzione degli spostamenti.

Per tale motivo questi modelli sono anche detti *linked*, poichè comprendono un sottomodello di trasporto "collegato" (e non integrato) al sottomodello di land-use.

Esempi di questa tipologia sono DELTA (Simmonds, 1999) ed i modelli activity-based, che fondano l'analisi della mobilità sulla distribuzione delle attività.

3.3. Confronto tra gli approcci

Innanzitutto i modelli IL, date certe variabili fisse, come i settori economici di base e di esportazione, l'offerta di suolo o di residenze, ricercano la condizione di equilibrio in merito alla localizzazione delle attività considerate ed alle loro interazioni.

Ad esempio, in questo approccio la presenza delle famiglie è "generata" dalla richiesta sul mercato del lavoro, e tale domanda dipende in parte dalla domanda di servizi per le famiglie stesse; tale legame deve raggiungere l'equilibrio, altrimenti sia le famiglie che i posti di lavoro scomparirebbero dal sistema.

Al contrario, l'approccio LI non necessita del raggiungimento di un equilibrio tra la localizzazione e il numero delle differenti attività; per esempio con esso si può facilmente prevedere un aumento dell'offerta del lavoro in una zona caratterizzata da decrescente domanda, e la disoccupazione che ne consegue.

Un'altra differenza è dovuta al fatto che i modelli IL, per loro costituzione, sono in grado di prevedere le matrici delle interazioni che possono essere convertite in matrici Origine/Destinazione di trasporto; ciò risulta utile se i dati di mobilità non sono disponibili o se viene richiesta una matrice sintetica come input per un processo di perfezionamento (ad es. correzione, aggiornamento) della matrice stessa.

Infine, poichè i modelli LI sono costituiti da un modello di trasporto distinto da quello territoriale ma ad esso collegato, questo produce i seguenti vantaggi:

- nel caso in cui si ha un modello di trasporto già esistente, è possibile sviluppare un modello trasporti-territorio aggiungendo solamente il modulo di land-use;
- si possono fare valutazioni unicamente trasportistiche, test e stime di parametri utili per la valutazione dei benefici esclusivamente dal punto di vista del sistema dei trasporti.

3.4. Criteri per la scelta del modello da utilizzare

La scelta della tipologia di modello da adoperare può essere condotta seguendo la struttura ad albero riportata in Fig. 18: conviene innanzitutto stabilire se utilizzare un modello statico oppure dinamico e poi, se dinamico, determinare quale tipo di approccio risulta più pertinente al caso da esaminare.

Un modello statico può essere appropriato se:

- le strategie di pianificazione sono già ben definite e se non vi è la necessità di confrontare gli effetti di politiche alternative, oppure
- si ritiene bastevole ottenere indicazioni generali sui principali effetti diretti di politiche dei trasporti sul land-use.

Sono più adatti i modelli di tipo dinamico, se vi è la disponibilità dei dati necessari, nei casi in cui:

- ci si pone l'obiettivo di confrontare differenti politiche di pianificazione dei trasporti e/o del territorio;
- la valutazione di trasformazioni del sistema dei trasporti riguarda anche eventuali impatti secondari sull'economia locale;
- si vuole esaminare il cambiamento del sistema nel suo complesso nel corso del tempo.

La scelta tra i differenti approcci dinamici disponibili si traduce nella preferenza tra i principali approcci disponibili: Interaction-Location, alla base dei modelli MEPLAN e TRANUS, oppure Location-Interaction, fondamento di DELTA.

Sostanzialmente questi modelli effettuano le stesse tipologie di simulazioni ma con modalità profondamente differenti, come discusso nei paragrafi precedenti e schematizzato in Tabella 7.

Tabella 7 – Fattori che influenzano la scelta del tipo di approccio Interaction-Location / Location-Interaction (London Department for Transport, 2005)

Area	Interaction-location (MEPLAN, MENTOR, TRANUS)	Location-interaction (DELTA)
Theoretical basis	Integration of different areas of economic theory	More eclectic: takes ideas from demographics, urban economics, etc.
Main drivers of change	Input output model generates households from demand for labour and service employment from demands for services	Separate demographic processes and economic processes or trends
Calibration	Can be calibrated to base-year data	Parameters typically based on previous research
Validation over time	Requires a major project; implications for model not necessarily clear	Would require a major project for full validation, but validation/adjustment of selected sub-models should be relatively straightforward
Relationship to transport model	Generation and distribution of transport determined primarily by land-use model	Most demands for transport generated and distributed within transport model, given land-use changes
Scope for appraisal	May be capable of a comprehensive calculation of benefits within the land-use model. Conventional appraisal of transport benefits may be restricted by limited nature of transport model.	Comprehensive appraisal not yet possible; conventional appraisal of transport benefits possible using associated transport model

4. Valutazione di politiche e strategie mediante modelli trasporti-territorio

Grazie a questi approcci, i modelli trasporti-territorio possono convenientemente essere utilizzati per:

- stimare le strategie ed i piani di trasporto, mantenendo fisse le politiche territoriali ;
- valutare politiche territoriali alternative, singolarmente o in combinazione con varie politiche ed interventi nel settore dei trasporti.

Va inoltre osservato che, per quanto detto finora, il mantenere costante le politiche territoriali non implica che i pattern territoriali restino fissi; questi infatti possono cambiare a causa delle strategie e dei piani di trasporto.

4.1. Valutazione delle politiche di trasporto

In ambito propriamente trasportistico la valutazione di interventi, soprattutto di carattere infrastrutturale, viene spesso condotta mediante un'analisi costi/benefici.

Attualmente non è possibile condurre un'analisi costi/benefici in cui le trasformazioni territoriali rientrino nelle variazioni della domanda di trasporto; ciò è dovuto al fatto che il modo in cui le relazioni territoriali e quelle trasportistiche sono rappresentate dal punto di vista matematico nei modelli di interazione trasporti-territorio non è così solido da permettere di condurre elaborazioni valide ai fini di una valutazione costi /benefici nel settore dei trasporti.

La visione convenzionale degli economisti è che gli impatti sul territorio delle trasformazioni trasportistiche modificano la distribuzione dei costi e dei benefici ma non modificano il risultato netto totale. Ciò implica che non è necessario valutare i benefici associati a gli impatti sul territorio, poiché essi sono semplici trasformazioni dei benefici in un'altra forma, che possono essere valutati con analisi trasportistiche.

Queste considerazioni sono però oggetto di obiezioni.

In primo luogo la distribuzione dei benefici spesso è d'interesse, nel senso che in genere i governi seguono una politica che tende alla redistribuzione del lavoro in aree dove è assente; inoltre gli investimenti nel settore dei trasporti che supportano tali politiche devono essere considerati maggiormente "portatori" di benefici.

Inoltre la teoria secondo cui gli impatti territoriali trasformano e ridistribuiscono i benefici trovati in sede di valutazione del sistema dei trasporti risulta valida solo in caso di concorrenza perfetta⁵¹. Di recente⁵² è stato dimostrato come questa condizione sia non realistica e che le misure dei benefici vengono modificate dagli effetti territoriali.

Allo stato attuale esistono due approcci per la valutazione nella pratica dei modelli trasporti/territorio.

⁵¹ Jara-Diaz, 1986.

⁵² Martinez e Araya, 1998.

Un approccio conduce elaborazioni sui benefici all'interno del modello di trasporto, principalmente basate sul risparmio di tempi e costi, testando le politiche alternative di trasporto e lasciando costanti le variabili territoriali. Tale test viene condotto considerando sia le variabili territoriali di riferimento, sia quelle conseguenti all'impatto della strategia considerata, in modo da controllare se i benefici aumentano o diminuiscono in seguito alla reazione territoriale. Nessuna di queste elaborazioni può comportare un aumento del beneficio netto dovuto all'effetto combinato della strategia di trasporto e della reazione territoriale ad essa, né fornisce informazioni sulla distribuzione territoriale dei benefici.

Invece l'altro approccio mira a condurre una valutazione globale dei benefici nel sistema territoriale, pertanto considera gli effetti territoriali e produce delle misure dei benefici diverse da quelle utilizzate nella valutazione esclusivamente trasportistica; ciò va ben oltre una convenzionale analisi costi/benefici nel settore dei trasporti e presenta non poche complicazioni modellistiche. Pertanto, sebbene preferibile, tale approccio risulta difficile da relazionare con le analisi più convenzionali.

Un'altra difficoltà è legata alla valutazione degli effetti ambientali. Solo in alcuni modelli territoriali i residenti e le aziende sono influenzati dagli impatti ambientali dei trasporti. Gli effetti negativi fanno diminuire la "disponibilità a pagare" per scegliere quelle localizzazioni e ciò genera svantaggi, ad esempio ai proprietari degli immobili. Ciò può condurre a computare ripetutamente gli impatti ambientali.

4.2. Valutazione delle politiche territoriali e di quelle integrate trasporti-territorio

Risulta molto utile se nella determinazione globale dei benefici in un modello ITT vi è la possibilità di valutare qualsiasi combinazione di elementi territoriali o trasportistici. Ciò è sia di interesse teorico che, soprattutto, consente di valutare gli impatti della pianificazione integrata.

Inoltre i modelli di land-use esistenti possono fornire una serie di indicatori (non solo trasportistici) sugli impatti delle differenti strategie territoriali, considerate singolarmente o insieme alle strategie trasportistiche.

Questi indicatori riguardano informazioni attese dagli approcci correnti per la valutazione in entrambi i campi della pianificazione.

5. Criticità dei modelli di interazione trasporti-territorio

I modelli di prima generazione si sono diffusi negli anni 60 ma presto sono stati accusati (Lee, 1973, 1994) di essere poco trasparenti e troppo onerosi per quanto riguarda l'eccessiva quantità di dati e la necessità di un costoso e notevole impiego di potenze di calcolo. Inoltre, il passaggio tra modelli di prima e seconda generazione è corrisposto al passaggio da uno stile di pianificazione "centralizzato" ad uno stile di pianificazione "incrementale".

Dagli anni 90 in poi, per effetto dei progressi nell'ambito della teoria dell'utilità aleatoria, dei modelli di scelta discreta, dei modelli di equilibrio su rete e dei sistemi informativi geografici, si è avuta l'opportunità di creare nuovi modelli più trasparenti, sebbene ancora con alcune fondamentali criticità.

Ai modelli di interazione spaziale si sono sostituiti quelli del tipo logit multinomiale mentre la maggior parte hanno conservato un elevato grado di aggregazione, come i modelli di massimizzazione dell'entropia, in opposizione a modelli discreti di massimizzazione dell'utilità.

Di recente i modelli integrati trasporti/territorio hanno subito notevoli miglioramenti grazie ai progressi di natura tecnologica, che hanno favorito la capacità e velocità computazionale, ed agli sviluppi dei modelli econometrici. Grazie a ciò si è evidenziata una generale tendenza alla disaggregazione sia del territorio che della classificazione delle famiglie, si è avuto uno spostamento dall'approccio fondato sull'equilibrio al disequilibrio, è migliorato il livello di dettaglio passando dalle particelle censuarie alla suddivisione in celle.

Infine lo sviluppo dei sistemi informativi geografici ha migliorato la visualizzazione delle trasformazioni territoriali, conferendo maggiore praticità al sistema.

I progressi appena elencati, però, riguardano principalmente aspetti tecnici ed applicativi, mentre le basi teoriche risentono ancora delle iniziali problematiche, dovute alla debolezza del loro fondamento, mutuato da altre discipline e non creato per la specifica questione.

Vengono quindi discusse a seguire le principali necessità da soddisfare affinché questo ambito di ricerca possa considerarsi maturo⁵³.

5.1. Introdurre principi di comportamento spaziale

I modelli integrati trasporti-territorio sono stimati da dati empirici, pertanto le funzioni di *distance decay*⁵⁴ sono in genere derivate da dati sulla scelta della destinazione per specifiche motivazioni di viaggio. Questa pratica non è cambiata dai primi modelli ai più recenti e costituisce un problema fondamentale, poiché in realtà lo spazio offre sia opportunità che vincoli.

Il comportamento di scelta osservato, ovvero la localizzazione spaziale, esprime realmente una manifestazione delle preferenze del consumatore solo se la struttura spaziale permette agli individui di soddisfare le proprie preferenze ed in tal caso può essere modellizzato in termini di massimizzazione dell'utilità.

Inoltre le funzioni di distanza temporale sono spesso usate per esprimere la sensibilità alla distanza, fatto non sempre vero poiché accade di dover viaggiare più a lungo per raggiungere destinazioni più vicine.

Pertanto la funzione di *distance decay* non descrive i principi di comportamento di scelta spaziale (o meglio la sensibilità alla distanza, al tempo di percorrenza o all'accessibilità), ma piuttosto un mix non ben identificato di preferenze e strutture spaziali.

Ciò implica che le funzioni di utilità e quelle di *distance decay* non possono essere usate con validità per prevedere gli impatti delle decisioni di pianificazione. Inoltre le scelte di pianificazione modificano la struttura spaziale, e perciò le condizioni antecedenti per le osservazioni delle scelte spaziali saranno differenti.

Ancora per questa problematica non è stata individuata una soluzione globalmente accettata.

Per di più i progressi nell'analisi delle scelte localizzative hanno mostrato che il comportamento di scelta dipende anche dal contesto. Dunque si necessita di un approccio che chiarisca gli effetti della struttura spaziale e delle preferenze spaziali, per differenti condizioni.

⁵³ Timmermans, 2003.

⁵⁴ definita come la tendenza a rinunciare a certe attività se queste richiedono uno spostamento ritenuto eccessivo in termini di distanza spaziale o temporale.

Ad esempio, per alcuni comportamenti come il pendolarismo per lavoro, gli individui spesso hanno minori margini di scelta; infatti, dopo aver accettato una occupazione, la distanza e il tempo di percorrenza verso la destinazione non sono elementi di decisione, ma conseguono alla scelta del lavoro. Così, invece di esaminare l'effetto di distance decay, si potrebbe considerare che gli individui basano le proprie decisioni su un vago concetto di "ragionevole distanza di viaggio" che probabilmente è bilanciata dalle caratteristiche connesse al lavoro.

Considerando invece gli spostamenti per altri motivi, come ad esempio lo shopping o lo svago in generale, dove gli individui operano in effetti una scelta e pertanto dovrebbero considerarsi meccanismi differenti.

Potrebbero applicarsi i metodi delle *preferenze dichiarate*⁵⁵, ma al momento il legame tra il comportamento reale e le funzioni derivate sperimentalmente necessita di ulteriori analisi.

5.2. Sviluppare modelli comportamentali e specifici di contesto

Attualmente la maggior parte delle simulazioni trasporti-territorio si effettua con il modello logit multinomiale per prevedere le scelte di localizzazione delle residenze, delle aziende ed in generale le scelte della destinazione che sono alla base dei comportamenti di viaggio.

Anche in questo caso il dibattito sulla validità di questo modello evidenzia la carenza di uno specifico sviluppo teorico.

Gli studiosi concordano sul fatto che individui e famiglie possono aumentare la loro utilità solo sperimentando le alternative, valutando i risultati, e quindi derivare funzioni di utilità più o meno stabili; viene invece messo in discussione il fatto che la teoria dell'utilità aleatoria sia considerata la sola utile per questi tipi di scelte, tanto mutevoli per natura.

La decisione relativa alla scelta modale può in effetti considerarsi ripetitiva e probabilmente la maggior parte degli individui hanno sperimentato anche le altre alternative.

⁵⁵ Gli approcci basati sulle preferenze dichiarate sono metodi diretti per la valutazione contingente, che è un diffuso metodo di stima del valore dei beni/servizi che, per le loro caratteristiche intrinseche, non hanno un mercato; nei metodi delle *preferenze dichiarate* la disponibilità individuale a pagare è rilevata in modo diretto tramite indagini a campione, esperimenti o mercati simulati.

La scelta della destinazione per motivi di svago può essere ragionevolmente modellizzata in termini di logit multinomiale o simili, sebbene stiano dando buoni risultati anche i modelli “multi-purpose”.

Il modello logit multinomiale sembra però del tutto discutibile per la modellizzazione della scelta della localizzazione delle residenze; infatti le famiglie scelgono la residenza poche volte nella loro vita, non conoscono tutto il mercato immobiliare, pertanto hanno a disposizione un ridotto set di alternative di scelta. Inoltre la ricerca può essere limitata e influenzata da fattori diversi dalla distanza; peraltro mentre le scelte di viaggio sono in genere operate da individui, quelle localizzative spesso riguardano più persone.

Se è vero che qualunque modello dovrebbe catturare almeno gli aspetti chiave della scelta che viene simulata, il modello logit multinomiale non sembra il più adeguato poiché le sue ipotesi sono in disaccordo con le caratteristiche prima menzionate.

Esistono infatti approcci modellistici migliori in letteratura con riferimento alle residenze, come i modelli di microsimulazione della scelta delle residenze.

5.3. Sviluppare modelli realmente integrati

Non è insolito che i cosiddetti modelli integrati trasporti-territorio siano in realtà una combinazione di approcci modellistici effettuati ad hoc.

Accade infatti che la domanda di differenti tipologie di land-use venga determinata da certi modelli, un altro insieme di modelli è poi utilizzato per localizzare la domanda nello spazio, tale distribuzione spaziale viene quindi usata per prevedere i flussi di traffico (con modelli basati sul viaggio o sulle attività) ed infine il modello di trasporto è utilizzato per calcolare i tempi di viaggio.

Spesso l’“integrazione” è ridotta al fatto che le misure di accessibilità o i tempi di viaggio servono come una delle variabili esplicative del modulo di scelta delle residenze. Ciò è ovviamente riduttivo e comunque errato.

5.4. Modellare la pianificazione territoriale

Il ruolo della pianificazione territoriale nello sviluppo urbano non sempre è esplicitamente preso in considerazione nella maggior parte dei modelli interazione trasporti-territorio, nonostante che i pianificatori svolgano un ruolo fondamentale nel definire gli assetti delle città.

Non è immediatamente chiaro come dovrebbe essere modellizzata la pianificazione territoriale, anche perché gli obiettivi della pianificazione a volte cambiano a seconda della parte politica promotrice.

5.5. Considerazioni conclusive

I modelli di interazione trasporti-territorio hanno subito, negli ultimi decenni, notevoli progressi in termini di classificazione e di scala di risoluzione spaziale, ma non in termini di fondamenti e strutture teoriche.

Persistono inoltre i problemi legati alla complessità che, secondo alcuni, conferisce a questi modelli carattere di “black box”. In realtà la complessità del modello è anche dovuta alla complessità del fenomeno in analisi.

Dato che lo scopo di tali modelli è di supportare le decisioni di pianificazione a lungo termine, è ovvio che questi necessitino di numerosi dati di input e che l'implementazione risulti onerosa, poiché il sistema territoriale e quello dei trasporti vengono rappresentati in maniera dettagliata.

Secondo molti i modelli più promettenti appaiono quelli comportamentali, a patto comunque che vengano utilizzati per fornire una possibile indicazione qualitativa per aree vaste piuttosto che una valutazione quantitativa dettagliata delle tendenze e degli impatti degli scenari territoriali e trasportistici.

Probabilmente però è necessario ripensare l'uso dei modelli stessi considerandoli, piuttosto che come accurato strumento di previsione, utili strumenti per lo sviluppo di scenari da cui far partire i ragionamenti e le scelte di pianificazione.

6. Modelli di interazione trasporti-territorio e accessibilità

Come si è detto, i modelli di simulazione trasporti-territorio sono strumenti analitici utilizzati per rappresentare le relazioni dinamiche tra le trasformazioni del territorio e quelle del sistema di trasporto, quindi per simulare gli effetti dell'evoluzione del sistema di trasporti sul territorio e viceversa.

La funzione di tali modelli è dunque di supporto alle decisioni di pianificazione.

Come si è ribadito spesso nella presente trattazione, la relazione bidirezionale tra trasporti ed uso del suolo è mediata dall' "accessibilità".

L'accessibilità si distingue dalla mobilità poiché non si limita alla valutazione di un tempo o costo di viaggio necessario per superare una certa distanza fisica, bensì tiene in considerazione la fruibilità delle opportunità urbane.

Tale fruibilità dipende quindi dalle caratteristiche di "accesso" alle attività; questo è legato alla localizzazione delle attività stesse, alla loro organizzazione, all'offerta di infrastrutture e servizi di trasporto per il loro raggiungimento (trasporto pubblico, parcheggi, etc).

Come verrà approfondito nel capitolo successivo, l'accessibilità non dipende esclusivamente dalle performance dei trasporti o da quelle delle attività, ma dall'interazione fra le due.

Si evince da quanto discusso fin qui in merito ai modelli di interazione trasporti-territorio che, nonostante i profondi fondamenti teorici e l'elevato grado di complessità, in essi l'accessibilità, anche se implicitamente considerata, non sempre viene esplicitata e la sua misurazione è spesso ambigua.

Inoltre tali modelli, e soprattutto quelli propriamente trasportistici, fondano le loro valutazioni sulla garanzia della mobilità piuttosto che dell'accessibilità, con l'obiettivo frequente di migliorare la mobilità e non l'accessibilità, e le ripercussioni sul territorio sono tutt'altro che irrilevanti.

La valutazione dell'accessibilità può dunque considerarsi, in un certo senso, un approccio alternativo a quello classico dei modelli di interazione trasporti-territorio, anche se molto semplificato poiché l'accuratezza, la necessità di risorse in termini di dati, tempo e oneri economici non sono paragonabili.

Questo è dovuto al fatto che l'accessibilità, poiché lega il sistema delle attività con il sistema dei trasporti, può essere considerata un indicatore sintetico del livello di organizzazione del territorio; peraltro questa rappresenta uno

strumento di analisi nell'ambito dei sistemi territoriali che consente di esprimere il grado di connessione di un'area rispetto all'ambiente circostante.

Inoltre la progettazione integrata trasporti-territorio è sempre orientata alla sostenibilità; com'è noto, questa implica tre dimensioni fondamentali: ambientale, economica e sociale. Le relazioni tra le tre componenti della sostenibilità e la possibilità di integrare i diversi sistemi di obiettivi appartenenti a ciascuna componente sono oggi al centro di riflessioni multidisciplinari e di approfondimenti metodologici. Fra le questioni relative alla "mobilità sostenibile" è evidente che quelle inerenti l'accessibilità hanno un'importanza non trascurabile.

Il capitolo che segue evidenzia l'importanza di questo indicatore che, per le sue peculiari caratteristiche, può essere considerato:

- l'obiettivo della pianificazione integrata, in fase di progetto;
- un buon indice del livello di organizzazione del territorio nel suo complesso, in fase di analisi dello stato attuale.

Capitolo 3

L'ACCESSIBILITÀ

1. Mobilità e accessibilità

I termini *mobilità* ed *accessibilità* vengono spesso usati insieme nei piani dei trasporti ma senza una chiara distinzione, sebbene questa sia di grande interesse e rilevanza⁵⁶.

In generale, con *mobility* si indica la capacità di muoversi da un luogo ad un altro (*ability to move*), mentre il termine *accessibility* deriva dalla giustapposizione dei termini *access* e *ability*, perciò indica la capacità di accedere a “qualcosa”, che può essere un'attività, un modo di trasporto o entrambi.

Nel contesto della pianificazione dei trasporti si intende per *mobilità* “il potenziale di movimento”⁵⁷, “la possibilità di spostarsi o di essere spostato da un luogo ad un altro”⁵⁸. La *mobilità* è frequentemente utilizzata come criterio alla base della pianificazione dei trasporti e le principali misure con cui questa viene quantificata sono: il livello di servizio, il numero di spostamenti, i chilometri percorsi, etc.

Le immagini riportate nel seguito rappresentano rispettivamente situazioni caratterizzate da buona mobilità (in Fig. 24) e scarsa mobilità (Fig. 25).

⁵⁶ Handy, 1994.

⁵⁷ Hansen, 1959.

⁵⁸ Handy, 1994.



Fig. 24 - Esempi di *good mobility*



Fig. 25 - Esempi di *poor mobility*

Più complesso e difficile da specificare è invece il concetto *accessibilità*; nei dizionari questa è definita come “la capacità di essere raggiungibile” ma è di certo più significativo l’approccio tecnico di Hansen (1959) che, nel contesto della pianificazione, definisce *accessibilità* “il potenziale di interazione”.

Quindi l'accessibilità riguarda sia le condizioni del sistema di trasporto che la presenza di attività che soddisfino un dato bisogno nella zona di destinazione⁵⁹.

Una buona accessibilità è garantita se il cittadino è in grado di raggiungere ciò di cui necessita; questo implica la possibilità per egli di scegliere tra varie destinazioni e modi di trasporto (v. Fig. 26). Al contrario se vi è una carenza di varietà di attività e non è possibile scegliere tra vari modi di trasporto per raggiungerle, la zona considerata ha una scarsa accessibilità (v. Fig. 27).



Fig. 26 - Esempi di *good accessibility*

⁵⁹ Koenig, 1980.



Fig. 27 - Esempi di *poor accessibility*

Pertanto una generica misura di accessibilità include sia un fattore di impedenza⁶⁰, che riflette il tempo, il costo legato al raggiungimento della destinazione e le condizioni di comfort durante lo spostamento, sia un fattore di attrattività, che dipende dalle caratteristiche di interesse delle potenziali destinazioni.

L'uso a volte improprio dei termini *mobilità* ed *accessibilità* è probabilmente dovuto anche alla relazione tra questi; in effetti è chiaro che la *mobilità* è legata alla componente impedenza dell'*accessibilità*, ovvero alla difficoltà di raggiungere una certa destinazione.

In generale, pianificare il miglioramento dell'accessibilità produce impatti diversi rispetto alla pianificazione della mobilità poiché non sempre le politiche volte all'aumento della mobilità inducono l'aumento dell'accessibilità. In particolare una corretta pianificazione per l'accessibilità induce maggiori benefici in quanto aumenta le possibili scelte modali e riduce la necessità dell'auto privata.

⁶⁰ Il termine impedenza è sovente utilizzato nell'ambito dei trasporti in analogia con la grandezza fisica che misura la resistenza opposta da un conduttore al passaggio di una corrente.

L'accessibilità, pertanto, non dipende esclusivamente dalle performance dei trasporti o da quelle delle attività, ma dall'interazione fra le due. Proprio questo ruolo di "connessione" rende, anche sotto il profilo concettuale, la nozione di accessibilità così interessante per descrivere le performance urbane. Ed è proprio a causa di questo, d'altra parte, che risulta difficile stabilire un'unica misura di accessibilità, tant'è che da un punto di vista metodologico non esiste un unico indicatore di accessibilità, ma in letteratura è presente una notevole varietà di indicatori.

Il tema dell'accessibilità va assumendo sempre più rilievo nell'ambito dei processi di pianificazione territoriale, anche a causa del suo stretto legame con lo sviluppo socio-economico di una regione, in quanto è necessario studiare l'impatto che una diversa organizzazione del sistema dei trasporti può avere sul territorio e sulle reti economico-spaziali.

Anche a livello urbano l'accessibilità costituisce un elemento chiave per conoscere le relazioni che intercorrono tra il territorio e il sistema di trasporto. L'accessibilità infatti deriva dalla connessione tra due principali componenti della struttura urbana: le attività urbane e le reti di trasporto che connettono le varie attività e ne rendono possibile l'interazione.

2. Il concetto di accessibilità

Dal punto di vista concettuale, è emerso che l'accessibilità deriva dalla connessione tra le due principali componenti della struttura urbana:

- la componente spazio-funzionale (le attività urbane nella loro specificazione organizzativa e insediativa) e
- la componente spazio-temporale (le reti di trasporto e di comunicazione che collegano le varie attività e ne rendono possibile l'interazione funzionale e spaziale).

È evidente quindi che l'accessibilità condiziona le scelte localizzative dei singoli attori economici (imprese e residenti) e influisce sull'organizzazione dello spazio urbano.

Questo ruolo di cerniera, peraltro, è responsabile di una certa ambiguità della nozione di accessibilità che, molte volte, è fonte di difficoltà nelle applicazioni concrete.

In effetti l'accessibilità può essere considerata un indicatore sintetico del livello di organizzazione del territorio poiché lega il sistema delle attività con il sistema dei trasporti; inoltre nell'ambito dei sistemi territoriali rappresenta uno strumento di analisi che consente di esprimere il grado di connessione di un'area rispetto all'ambiente circostante.

Dal punto di vista teorico-metodologico, inoltre, occorre tenere presente che numerose definizioni di accessibilità (e di indicatori per la sua misura) sono state proposte. Esse riflettono gli avanzamenti raggiunti negli approcci di studio che, nel corso del tempo, sono stati proposti per descrivere la struttura spaziale della città relativamente alle due componenti spazio-funzionale e spazio-temporale.

La Tabella 8 riporta alcune delle principali definizioni che si possono trovare nella letteratura, raggruppate secondo il principale approccio di appartenenza.

La definizione di accessibilità si è dunque evoluta:

- da una nozione dell'accessibilità di natura "fisico-deterministica" in cui i fattori di interazione sono rappresentati dalle masse delle attività localizzate e l'impedimento è una funzione della distanza fisica che intercorre fra le diverse masse;
- verso una concezione che ne evidenzia soprattutto le implicazioni economiche ove i fattori di interazione sono le opportunità esistenti nelle diverse localizzazioni e l'impedimento è assimilabile ad un costo (e quindi monetizzabile) dello "sforzo" (legato allo spostamento) necessario per fruire di quelle opportunità;
- per giungere a una formulazione in termini "probabilistici-comportamentali" ove l'accessibilità è considerata come l'esito di una pluralità di comportamenti individuali risultanti da un processo di scelta fra alternative diverse;
- fino a una concezione secondo cui l'accessibilità è assimilabile ad una risorsa associata alle molteplici reti di relazioni nelle quali gli individui sono inseriti.

Tabella 8 - Principali definizioni di accessibilità (Occelli, 1999)

DEFINIZIONI	APPROCCI
<p>Il potenziale delle opportunità di interazione (Hansen, 1959)</p> <p>Le caratteristiche (i vantaggi) di un luogo, relativamente all'impedenza spaziale che deve essere superata per accedervi (Ingram, 1971; Dalvi - Martin, 1976)</p>	Fisico-deterministico (approccio gravitazionale)
<p>L'apprezzamento della qualità delle condizioni di trasporto e la disponibilità dell'offerta in un luogo, relativamente ad un certo bisogno (Vickerman, 1974)</p>	Economico-funzionalista (approccio entropico)
<p>L'esito delle scelte fra un insieme di alternative (Ben-Akiva - Lerman, 1979)</p>	Economico-comportamentale (approccio micro-economico, teoria dell'utilità casuale)
<p>Un aspetto della libertà di azione degli individui, subordinatamente a vincoli temporali e spaziali (Hagerstrand, 1975; Burns, 1979)</p>	Spazio-temporale (approccio comportamentale)
<p>Una disponibilità creata nello svolgimento delle attività quotidiane, misurabile in termini di sforzi necessari alla sua creazione o al suo mantenimento (Pirie, 1979)</p>	Informazionale
<p>Una risorsa associata alle molteplici reti di interazione stabilite dalle persone e dalle organizzazioni nel sistema urbano (Castells, 1989; Occelli, 1998a)</p>	

2.1. Accessibilità e dipendenza dall'auto

A partire dagli anni Novanta i problemi legati all'accessibilità hanno assunto sempre maggiore rilevanza poiché sono connessi al progressivo fenomeno di congestione dovuta al traffico, purtroppo tipico di molte grandi città.

In effetti le città, nate a “misura d'uomo” si sono poi sviluppate a “misura di auto” (v. Capitolo 1 – paragrafo 2): inizialmente il mezzo privato ha aumentato in maniera diretta l'accessibilità mediante la riduzione del tempo di viaggio verso tutte le destinazioni e permettendo ai residenti di scegliere con estrema libertà verso, dove e quando viaggiare⁶¹.

Ma lo stesso uso dell'automobile ha poi indirettamente condotto a cambiamenti significativi del sistema delle attività e dei trasporti, sconvolgendo le gerarchie fino al quel tempo presenti: ha favorito la dispersione delle localizzazioni delle attività e, di conseguenza, l'ampliamento dei bacini di mobilità accompagnato da un allargamento dei bacini di vita quotidiana per effetto della maggiore motorizzazione e della crescente domanda di varietà dei consumi e nei modi di impiego del tempo libero.

Anche la gerarchia commerciale è stata sconvolta soprattutto per effetto della presenza di centri commerciali di grandi dimensioni, localizzati in genere fuori città; in questi luoghi gli utenti trovano numerose tipologie di attività, facilità nel trovare parcheggio, maggiore convenienza e assortimento di prodotti, nonché la possibilità di ridurre il numero di spostamenti.

D'altra parte, l'accessibilità alle aree urbane non sempre è stata favorita sia da parte della pianificazione territoriale che dei trasporti; spesso il cittadino moderno privilegia l'uso dell'automobile in quanto i trasporti pubblici sono poco efficienti, il percorso a piedi risulta poco gradevole o addirittura pericoloso, oppure nelle vicinanze non vi è un'attività adatta alle sue esigenze.

Secondo Handy (1993) si è generato un ciclo di dipendenza dalle auto che si sviluppa in combinazione con un ciclo di distruzione: il primo è legato al fatto che l'uso delle auto ha incoraggiato la progettazione e costruzione nuove auto che favorisce l'uso delle stesse; tale ciclo continua ancora poiché in genere le destinazioni sono progettate per l'automobile in quanto questo è il mezzo maggiormente utilizzato. Oltre a ciò si assiste tuttora ad un ciclo di distruzione poiché l'accessibilità automobile-dipendente necessita dell'auto, e ciò accresce la

⁶¹ Handy, 1993.

congestione veicolare che a sua volta diminuisce i livelli di accessibilità. È evidente la necessità di interrompere questo ciclo e, a tal fine, bisogna agire sia sul land-use che sul sistema dei trasporti.

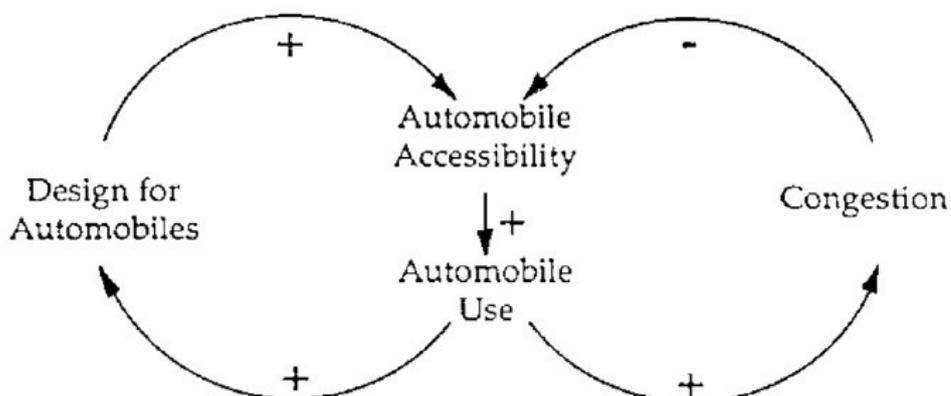


Fig. 28 - *Cycle of dependence - cycle of destruction* (Handy, 1993)

A tal fine le ipotesi più accreditate auspicano la promozione di uno sviluppo “neo-tradizionale” delle aree urbane, caratterizzato dall’uso misto del territorio in modo che i residenti possano raggiungere ad una *walkable distance* le principali attività di cui necessitano, e prestando particolare attenzione al design dell’ambiente urbano in modo da favorire la mobilità dolce e quindi presenza degli utenti deboli della strada (pedoni, ciclisti, etc.)

2.2. Accessibilità e accesso

Con questi due termini si identificano nozioni diverse che si ritiene necessario puntualizzare, anche se spesso vengono usati indistintamente in modo non appropriato.

Da un punto di vista semantico i due vocaboli si differenziano poiché accesso, che deriva dal latino *accedere*, significa “avvicinarsi” mentre accessibilità, come si è visto nel primo paragrafo del presente Capitolo, nasce dall’unione dei termini *accesso* e *abilità*, ed indica la capacità di avvicinarsi a qualcosa⁶². Pertanto secondo questo tipo di confronto di carattere strettamente linguistico, il concetto di accesso è incluso in quello di accessibilità.

⁶² El Geneidy e Levinson, 2007

Di natura più tecnica è la differenziazione fornita da Murray et al. (1998) con riferimento al trasporto pubblico: per accesso si intende la facilità con cui è possibile raggiungere la fermata mentre l'accessibilità riguarda le caratteristiche del sistema di trasporto mediante il quale è possibile effettuare lo spostamento dall'origine alla destinazione.

Nell'analisi di un servizio pubblico di trasporto entrambi questi elementi rivestono una certa importanza.

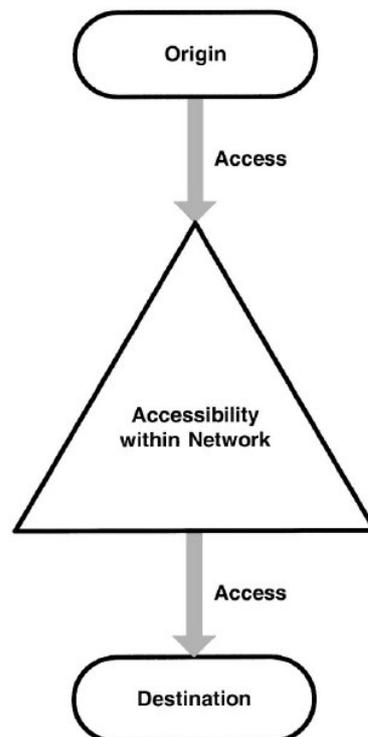


Fig. 29 - Accesso al trasporto pubblico (Murray et al., 1998)

L'accesso ad una fermata del trasporto pubblico è condizionato dalla distanza tra il punto di origine e la fermata stessa, dal tempo necessario per effettuare questo spostamento, dalle condizioni di sicurezza e comfort del percorso.

L'accessibilità è invece legata al tempo di viaggio sul mezzo pubblico, al numero di trasbordi, alla regolarità del servizio ed alla sua frequenza.

Si fa notare che tutti i fattori che influenzano accesso e accessibilità con specifico riferimento al trasporto pubblico e secondo l'approccio di Murray, possono rientrare tutti nel concetto di costo generalizzato del trasporto definito nel Capitolo 1.

Un'ulteriore distinzione è fornita dagli olandesi Geurs e Van Wee (2004), secondo i quali l'accesso è legato ad una prospettiva individuale del problema, mentre l'accessibilità si riferisce ad un luogo.

Si chiarisce che nella presente trattazione all'accessibilità viene attribuito un significato molto più ampio, come già discusso nei paragrafi 1 e 2 del presente Capitolo.

3. Componenti dell'accessibilità

Dall'esame delle varie definizioni di accessibilità e delle sue misure posso identificarsi quattro tipologie di componenti che condizionano l'accessibilità ma che sono anche in relazione tra loro (Geurs e van Wee, 2004):

- l'uso del territorio,
- i trasporti,
- la dimensione temporale,
- la dimensione individuale.

La componente *uso del territorio* riflette la presenza, la quantità, la qualità e la distribuzione spaziale delle opportunità offerte da ogni destinazione, nonché la domanda di tali opportunità dal luogo d'origine ed il confronto tra tale domanda ed offerta.

La componente relativa ai *trasporti* esprime la disutilità di un individuo a spostarsi dall'origine alla destinazione, utilizzando uno specifico modo di trasporto; essa è il risultato dell'interazione tra domanda ed offerta di trasporto ed include le caratteristiche funzionali e di localizzazione del sistema dei trasporti.

La componente legata al *tempo* riguarda i vincoli temporali, come la disponibilità di varie opportunità a diverse ore del giorno e l'intervallo di tempo a disposizione degli individui per partecipare alle attività.

La componente *individuale* riflette caratteristiche proprie degli individui quali: le necessità (legate ad età, reddito, istruzione, condizione familiare, ecc.), le capacità (dipendenti dalle condizioni fisiche dell'individuo e dalla disponibilità di vari modi di trasporto) e le opportunità (connesse al reddito, al budget di viaggio, ecc.).

La Fig. 30 mostra le mutue relazioni tra le suddette componenti e l'accessibilità risultante, nonché le relazioni tra le componenti stesse; tali relazioni possono essere dirette (rappresentate con tratto continuo), indirette (linea tratteggiata) o di retroazione (tratto punteggiato).

La distribuzione delle attività (componente territoriale) determina la domanda di trasporto (componente di trasporto) e può anche introdurre limiti di tempo (componente temporale) ed influenzare le opportunità degli individui (componente individuale).

La componente individuale influisce su tutte le altre componenti: le necessità e le capacità dell'individuo influenzano il suo valore del tempo, il costo di trasporto, le tipologie di attività ed il tempo impiegato in specifiche attività.

Inoltre, l'accessibilità influenza tutte le componenti attraverso un meccanismo di feedback: l'accessibilità come fattore di localizzazione delle attività e l'uso del territorio, influenza la domanda di trasporto, le opportunità economiche e sociali degli individui ed il tempo necessario per compiere le attività.

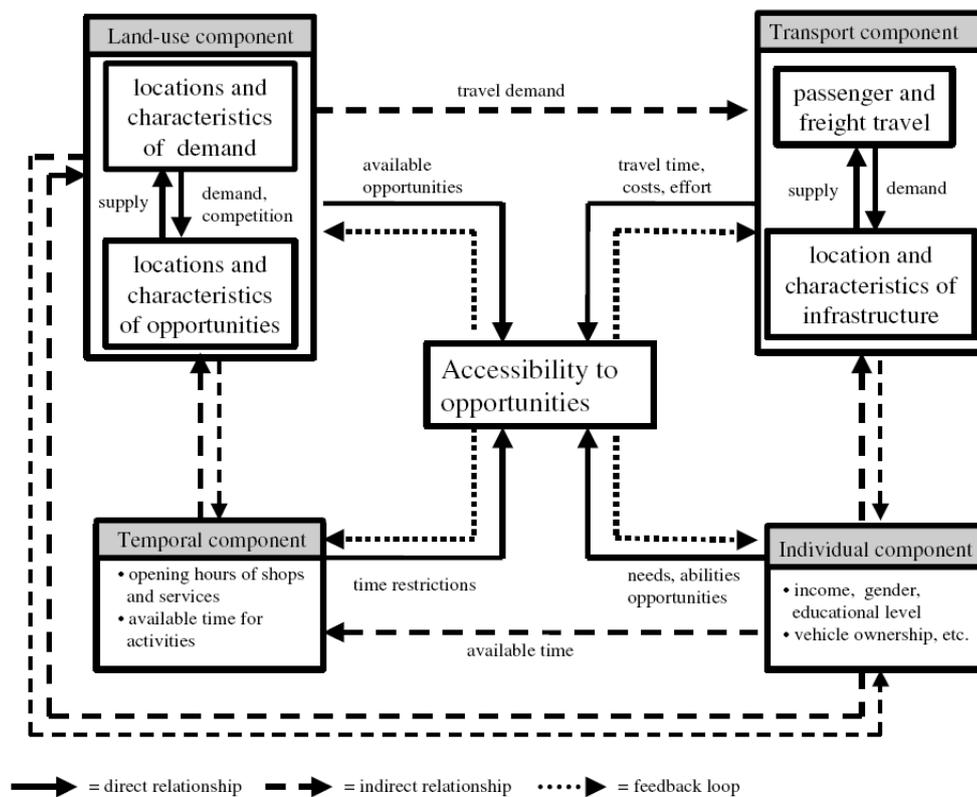


Fig. 30 - Relazioni tra le componenti dell'accessibilità (Geurs e van Wee, 2004)

Da un punto di vista teorico, una misura di accessibilità dovrebbe comprendere tutte le quattro componenti discusse; ma nella pratica gli indici utilizzati sono basati su una o più componenti, a seconda della prospettiva scelta per la valutazione.

4. Principali *perspective* per la misura dell'accessibilità

Possono identificarsi quattro punti di vista principali nella stima dell'accessibilità, da cui derivano altrettante tipologie di misure basate su: l'infrastruttura, la localizzazione, l'individuo, l'utilità. È evidente come questi approcci derivano dalle quattro discipline che indagano, a diverso titolo, il sistema territoriale nella sua complessità: la pianificazione territoriale, i trasporti, la geografia e l'economia.

Le misure *infrastructure-based* sono tipicamente usate nella pianificazione dei trasporti e si riferiscono a grandezze di performance dell'infrastruttura, come il livello di congestione o la velocità media.

Le misure *location-based* sono spesso utilizzate nella geografia e nella pianificazione urbana; queste descrivono il livello di accessibilità alle attività distribuite nello spazio.

L'accessibilità è invece analizzata da una prospettiva individuale nelle misure *person-based*, in cui la possibilità di un individuo di partecipare ad attività in un dato tempo è condizionata da vincoli spazio-temporali⁶³.

Infine le misure *utility-based*, nate nell'ambito delle discipline economiche, esaminano i benefici che l'individuo ha per effetto della sua partecipazione alle attività.

Nella Tabella 9 vengono riportate, per ogni prospettiva di misura dell'accessibilità, le differenti valutazioni di ogni suo componente. Dall' esame di questa risulta evidente come ogni approccio focalizza principalmente l'attenzione su una componente trascurando in varia misura le altre.

Infatti le misure *infrastructure-based* prescindono dalla distribuzione spaziale delle attività; le misure *location-based* valutano l'accessibilità ad una macro-scala mentre quelle *person-based* ed *utility-based* a livello individuale; la componente temporale è considerata esplicitamente solo nelle misure *person-based*.

Tabella 9 - Principali prospettive per la misura dell'accessibilità (Geurs e van Wee, 2004)

Measure	Component			
	Transport component	Land-use component	Temporal component	Individual component
Infrastructure-based measures	Travelling speed; vehicle-hours lost in congestion		Peak-hour period; 24-h period	Trip-based stratification, e.g. home-to-work, business
Location-based measures	Travel time and or costs between locations of activities	Amount and spatial distribution of the demand for and/or supply of opportunities	Travel time and costs may differ, e.g. between hours of the day, between days of the week, or seasons	Stratification of the population (e.g. by income, educational level)
Person-based measures	Travel time between locations of activities	Amount and spatial distribution of supplied opportunities	Temporal constraints for activities and time available for activities	Accessibility is analysed at individual level
Utility-based measures	Travel costs between locations of activities	Amount and spatial distribution of supplied opportunities	Travel time and costs may differ, e.g. between hours of the day, between days of the week, or seasons	Utility is derived at the individual or homogeneous population group level

⁶³ Hägerstrand, 1970.

5. Rassegna delle principali misure di accessibilità

Si riporta nel seguito una breve rassegna delle principali misure di accessibilità presenti ed utilizzate in letteratura, classificate secondo le prospettive precedentemente discusse.

Si possono distinguere le seguenti tipologie di misure di accessibilità:

- *infrastructure-based* (travel-cost approach): misure basate sull'approccio legato al costo di trasporto;
- *location-based* (gravity or opportunities approach): misure legate all'approccio fondato sul concetto di gravità o opportunità;
- *person-based* (constraints-based approach): misure fondate sull'approccio basato sui vincoli spazio-temporali;
- *utility-based* (utility-based surplus approach): misure basate sull'approccio fondato sulla nozione di utilità;
- composte (composite approach): misure basate sull'approccio misto che prevede combinazione di più misure.

5.1. Travel-Cost Approach: Infrastructure-based measures

Queste misure di accessibilità rivestono un importante ruolo nelle politiche dei trasporti in molti Paesi sia europei che statunitensi; sono correntemente utilizzate per valutare le prestazioni delle infrastrutture poiché misurano la facilità con cui ogni attività può essere raggiunta da una data origine utilizzando un particolare sistema di trasporto.

Una tipica formulazione di indice di questa categoria è:

$$A_i = \sum_{j \in L} \frac{1}{f(c_{ij})}$$

dove:

A_i l'accessibilità della zona i

L è l'insieme delle zone

$f(c_{ij})$ è la funzione di impedenza

c_{ij} è il costo di trasporto tra i nodi i e j

Questo tipo di misure presenta alcuni punti di forza come:

- la semplicità di calcolo;
- la modesta quantità di dati richiesti;
- la facilità di interpretazione sia per i ricercatori che per i *policy makers*.

I principali punti di debolezza di questa tipologia di indici riguardano:

- l'assenza della componente relativa all'uso del territorio che implica la non considerazione del potenziale impatto del land-use sulle strategie trasportistiche e la non corretta valutazione degli impatti in termini di accessibilità legati alla distribuzione delle attività;
- non dipendenza dalla differente valutazione del tempo tra i diversi viaggiatori;
- non considerazione degli aspetti comportamentali dei viaggiatori.

5.2. Gravity or Opportunities Approach: Location-based measures

Questo approccio è molto diffuso sia per studi urbani che geografici, e rappresenta un primo tentativo di includere gli aspetti comportamentali connessi al trasporto.

Il concetto di accessibilità come “potenziale di interazione” introdotto da Hansen (1959) è strettamente legato ai modelli gravitazionali basati sull'interazione tra masse. Questi tipi di indicatori sono ottenuti pesando le opportunità in un'area attraverso misure di attrazione e di impedenza.

La generica forma di una *potential accessibility measure* è:

$$A_i = \sum_{j \in L} \frac{W_j}{f(c_{ij}, \beta)}$$

dove:

A_i l'accessibilità della zona i

L è l'insieme delle zone

W_j è la “massa” di opportunità disponibili

$f(c_{ij}, \beta)$ è la funzione di impedenza

c_{ij} è il costo di trasporto tra i nodi i e j

β è un parametro di sensibilità al costo, in genere stimato mediante un modello di scelta della destinazione

Secondo questa formulazione l'accessibilità è direttamente proporzionale alle opportunità presenti ed inversamente alla funzione di impedenza che include l'effetto di diminuzione dell'accessibilità a causa della distanza o, in generale, del costo generalizzato di trasporto.

Sono diverse le funzioni di impedenza utilizzate in letteratura, tra queste una molto diffusa è la funzione esponenziale negativa, per cui la suscritta relazione diventa:

$$A_i = \sum_{j=1}^n D_j e^{-\beta c_{ij}}$$

Si osserva che rientrano in questa categoria gli indici proposti da Cascetta Nuzzolo Coppola (2006), utilizzati nella presente ricerca, come verrà meglio esposto nel capitolo successivo.

I principali punti di forza di questa tipologia di indicatori riguardano:

- la facilità di calcolo e valutazione;
- la minore quantità di dati richiesti rispetto ad altri indicatori che comprendono aspetti comportamentali;
- la possibilità di differenziare le zone di studio.

Queste misure di accessibilità presentano però i seguenti punti di debolezza:

- difficoltà di interpretazione dei risultati;
- problema dimensionale legato all'ambiguità della grandezza espressa dall'indicatore;
- carente valutazione delle preferenze disperse;
- esclusione degli effetti di competitività;
- non valutazione dei vincoli temporali.

5.3. Constraint-Based Approach: Person-based measures

Queste misure valutano l'accessibilità dal un punto di vista di un individuo ed includono vincoli spazio-temporali poichè sono basate sull'idea che le

opportunità (o il loro potenziale) non dipendono solo dalla distanza ma anche da limiti temporali dell'individuo⁶⁴.

Un indicatore di questo tipo utilizzato di frequente è la *cumulative opportunity measure*, meglio noto come indice isocrono, che stima l'accessibilità in termini di opportunità disponibili entro dati limiti di costo di trasporto.

In questo ambito rientra anche l'approccio di Miller (1999) che definisce la *space-time accessibility*. Questa dipende dal *Potential Path Space* (PPS) ovvero il prisma che, in una dimensione spazio-temporale, delimita tutti i luoghi che possono essere raggiunti dall'individuo a seconda della sua origine, della durata dell'attività e dal tempo di spostamento. La proiezione di questo spazio di percorso potenziale nel piano XY rappresenta la *Potential Path Area* (PPA) ovvero l'area in cui un individuo può muoversi a causa dei suoi limiti di tempo.

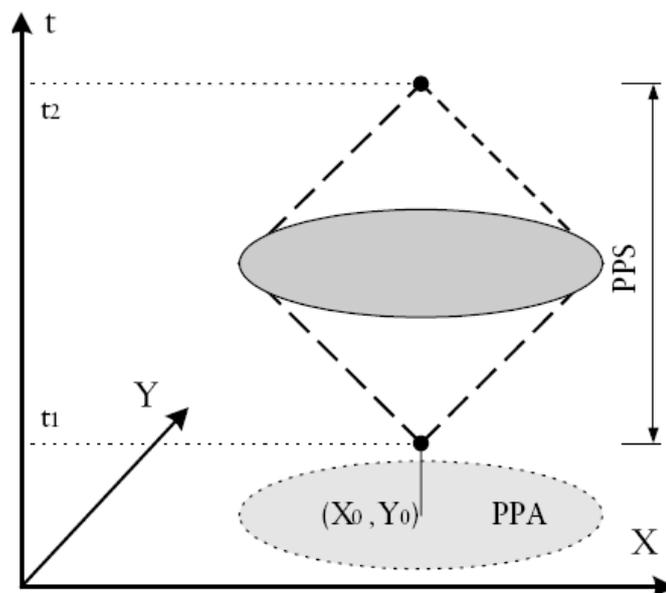


Fig. 31 - Potential Path Space e Potential Path Area (Baradaran e Ramjerdi, 2001)

Questa classe di indicatori si distingue dalle precedenti anche per i seguenti punti di forza:

- include la dimensione temporale delle attività;
- considera il comportamento di un individuo volto alla realizzazione di più attività in un dato intervallo di tempo;
- può essere utile per valutazioni sociali, grazie alla prospettiva individualistica.

⁶⁴ Hägerstrand, 1970.

I maggiori punti di debolezza di questo approccio riguardano:

- la definizione unicamente teorica della PPA (non è detto che una PPA più grande sia migliore di una più piccola poiché può esservi una diversa concentrazione e distribuzione di attività);
- la scarsa valutazione del comportamento dell'individuo ai fini del sistema di trasporto.

5.4. Utility -Based Surplus Approach: Utility-based measures

Questo approccio, fondato sulla nozione di utilità, intende includere le caratteristiche del comportamentali dell' individuo nei modelli di accessibilità e valuta l'accessibilità come il risultato di una serie di scelte di trasporto.

Ben-Akiva e Lerman (1979) affermano che "l'accessibilità dipende dal gruppo di alternative valutate dall'individuo-viaggiatore per il quale la stessa è stata misurata"; di conseguenza "per ogni singola decisione, l'individuo sceglierà l'alternativa che massimizza la sua utilità":

$$A_i^n = \max_{i,j \in L} U_{j|i}^n$$

dove:

n è il generico individuo,

j è la destinazione $\{j = (1,2,\dots, j,\dots,l); j \neq l\}$

i è il nodo per il quale l'accessibilità viene calcolata;

Inoltre:

$$U_{j|i}^n = v_j^n - c_{ij}^n + \varepsilon_{ij}$$

in cui:

v_j è una misura che riflette l'attrazione dell'alternativa j

c_{ij} è il costo di viaggio tra i e j

ε_{ij} è la parte stocastica dell'utilità, casuale e non osservabile

La misura di accessibilità così definita fornisce risultati in unità monetarie, pertanto è possibile confrontare differenti scenari avendo nota la scala di riferimento; numerosi sono gli studi presenti in letteratura basati su questa tipologia di indici⁶⁵.

Il principale punto di forza di questo approccio è la solida base teorica relativa ai modelli comportamentali nell'ambito dei trasporti. La modellazione di un indicatore di questo tipo, però, richiede una notevole quantità di dati relativi alle localizzazioni, al comportamento degli individui e al loro insieme di possibili scelte.

5.5. Composite Approach

Questo approccio di tipo misto prevede la combinazione di più misure di accessibilità, in particolare include la valutazione della presenza di più scopi in uno stesso viaggio, fattore mancante nelle misure basate sull'utilità.

Il contributo più significativo è quello di Miller (1999) che ricava nuove misure combinando i modelli basati sulla dimensione spazio-temporale e sull'utilità all'interno di un approccio composito; Miller chiama questi indicatori STAMs (Space-Time Accessibility Measures).

Sebbene questa metodologia miri a risolvere e superare le problematiche delle altre misure di accessibilità, non riesce ad rimuovere il principale svantaggio connesso alla grande quantità di dati necessari.

5.6. Valutazione delle principali misure di accessibilità

Si ritiene a questo punto utile effettuare un confronto tra i principali indici di accessibilità, al fine di effettuare una valutazione più specifica degli stessi con riferimento ad alcuni criteri riguardanti:

- fondamenti teorici
- operatività
- interpretabilità e comunicabilità
- adoperabilità come indicatore economico e sociale.

⁶⁵ Handy e Niemeier, 1997.

Riguardo alle basi teoriche, un buon indicatore dovrebbe tener conto di tutte le componenti dell'accessibilità viste in precedenza; pertanto questo dovrebbe essere sensibile a: cambiamenti nel sistema dei trasporti e delle attività, vincoli temporali e bisogni individuali.

L'operatività dell'indice invece tiene conto della sua efficacia, validità e facilità d'uso nella pratica della pianificazione e dipende perciò dalla quantità di dati, modelli, tecniche, tempo e costi necessari per effettuare uno studio di accessibilità.

Al fine di poter essere utilizzata negli studi di valutazione di politiche e sviluppo sia del territorio che dei trasporti, la misura di accessibilità deve inoltre poter essere correttamente compresa ed interpretata dai pianificatori e dai *policy makers*.

Poiché gli interventi nel settore dei trasporti e nel *land-use* producono impatti sulla collettività, una misura di accessibilità può convenientemente essere impiegata come indicatore sociale se valuta la disponibilità (e la sua variazione) di opportunità economiche e sociali per gli individui.

Analogamente l'accessibilità può essere considerato un indicatore economico poiché è evidente che i progetti sul territorio si ripercuotono sull'economia, inducendo effetti sia diretti che indiretti.

La Tabella 10 mostra la valutazione delle principali misure di accessibilità secondo i suddetti criteri.

A tal proposito risulta evidente che nessuna misura di accessibilità è in assoluto migliore delle altre, ma la sua validità dipende dal suo impiego; per una adeguata efficacia, è necessario scegliere l'indice di accessibilità più appropriato per il tipo di studio che si vuole condurre, poichè ogni approccio per la misura dell'accessibilità focalizza il suo interesse su una componente trascurando, in vario modo, le altre.

In particolare: solo le misure *person-based* considerano esplicitamente la componente temporale; quelle *infrastructure-based* non valutano accuratamente la distribuzione spaziale delle attività; infine l'accessibilità viene valutata a livello individuale solo dalle le misure *person-based* ed *utility-based* mentre ad una macro-scala da quelle *location-based*.

Tabella 10 - Valutazione delle principali misure di accessibilità (Geurs e van Wee, 2004)

Accessibility measure	Examples of applications	Components ^a				Operation- alisation ^b	Interpretation ^b	Usability for evaluation ^c		
		Transport	Land-use		Temporal			Individual	Economic impacts	Social impacts
			Demand	Supply						
<i>Infrastructure-based measures</i>										
	Linneker and Spence (1992), AVV (2000), DETR (2000)	±	-	±	-	+	+	±	-	
<i>Location-based measures</i>										
• Contour measure	Ingram (1971), Wickstrom (1971), Wachs and Kumagai (1973); Black and Conroy (1977); Guy (1983)	±	±	±	-	+	+	-	-	
• Potential measure	Stewart (1947), Hansen (1959), Vickerman (1974); Linneker and Spence (1992), Handy (1994)	+	+	±	±	+	±	±	+	
• Adapted potential measures	Weibull (1976), Shen (1998), Knox (1978); Joseph and Bankock (1982), Van Wee et al. (2001)	+	+	±	±	+	±	±	+	
• Balancing factors	Wilson (1970, 1971), Geurs and Ritsema van Eck (2001, 2003)	+	+	±	±	+	±	±	+	
<i>Person-based measures</i>										
	Miller (1991), Kwan (1998), Recker et al. (2001)	+	+	+	+	-	-	-	+	
<i>Utility-based measures</i>										
• Logsum benefit measure	Koenig (1980), Sweet (1997), Niemeier (1997); Handy and Niemeier (1997)	+	+	-	±	+	±	+	+	
• Space-time measure	Miller (1999)	+	+	+	+	-	±	+	+	
• Balancing factor benefit measure	Martínez (1995), Martínez and Araya (2000)	+	+	-	±	+	±	+	+	

^a Score: + = criterion satisfied; - = not satisfied; ± = partly satisfied.

^b Score: + = easy to operationalise or interpret; - = difficult; ± = moderately difficult.

^c Score: + = usable as indicator; - = not usable; ± = (potentially) usable as input for computations.

6. Una nuova misura di accessibilità

Recente ed ancora poco diffusa è una nuova misura di accessibilità proposta da due ricercatori dell'Università del Minnesota⁶⁶; la sua formulazione si ispira alla metodologia sviluppata dai fondatori di Google, Brin e Page (1998), per la classificazione delle pagine web in motori di ricerca su larga scala.

Il nucleo di Google è il PageRankTM, un algoritmo di analisi che assegna un peso numerico ad ogni elemento di un collegamento ipertestuale di un insieme di documenti, con lo scopo di quantificare la sua importanza relativa all'interno della serie.

Il nuovo indicatore è stato denominato *Place Rank*, in analogia con il PageRank; essendo ancora poco noto e non diffuso, non è stato esaminato nella valutazione delle principali misure di accessibilità sopra riportata.

Nell'ambito della loro ricerca, El-Geneidy e Levinson introducono questa nuova misura di accessibilità e la confrontano con due tradizionali, la *cumulative opportunity measure* e la *gravity-based measure*; tale confronto è stato condotto sul caso studio della regione delle Twin Cities, la cosiddetta area metropolitana delle "città gemelle" formata da Minneapolis con Saint Paul, la vicina capitale dello stato; questa è la sedicesima area metropolitana più popolosa degli Stati Uniti con circa 3.500.000 abitanti.

Nel seguito viene brevemente descritto il PageRank di Google, poi si riporta la formulazione della nuova misura di accessibilità *Place Rank*, quindi si procede con alcune considerazioni critiche sorte nell'ambito della presente ricerca.

6.1. Il PageRank

Il PageRank, letteralmente traducibile come "rango" di una pagina web, indica le pagine o i siti di maggiore rilevanza in relazione ai termini ricercati e può paragonarsi al concetto di popolarità, tipico delle relazioni sociali.

L'indicizzazione delle pagine web avviene in maniera analoga ad una elezione in cui il voto viene espresso attraverso i collegamenti presenti nella pagina; tali voti però non hanno tutti lo stesso valore in quanto le pagine web più popolari (con più link) esprimono voti di "peso" maggiore.

⁶⁶ El-Geneidy e Levinson, 2007.

In pratica, Google interpreta un collegamento dalla pagina A alla pagina B come un "voto" espresso dalla prima in merito alla seconda; oltre a effettuare il calcolo del numero di voti, Google prende in esame la pagina che ha assegnato il voto. I voti espressi da pagine "importanti" hanno più rilevanza e quindi contribuiscono a rendere "importanti" anche le pagine collegate. Il PageRank assegna ai siti Web importanti e di alta qualità un "voto" più elevato di cui Google tiene conto ogni volta che esegue una ricerca. È evidente che oltre ad essere "importanti", le pagine devono prima di tutto corrispondere ai termini ricercati.

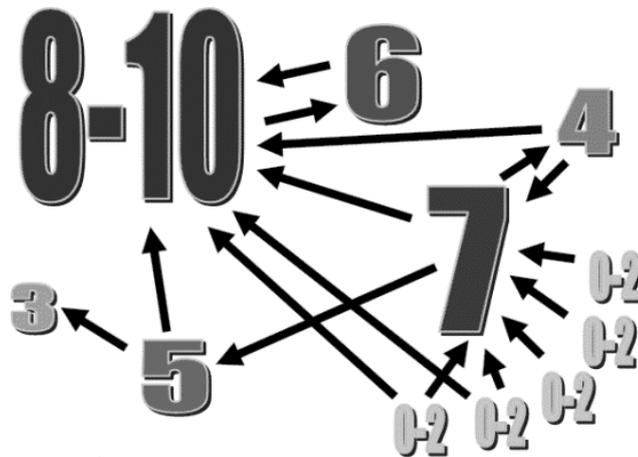


Fig. 32 - Logica alla base del PageRank™ di Google

6.2. Il Place Rank

Nel contesto della pianificazione, secondo El-Geneidy e Levinson l'approccio del PageRank si adatta bene al problema della misura del livello di accessibilità delle zone.

In maniera analoga al PageRank, il Place Rank di una zona è dato dal numero di persone che si spostano verso quella zona per raggiungere un'opportunità; il peso del contributo di tale spostamento (link) dipende dall'attrattività della zona di origine. Pertanto un utente che si sposta a partire da una zona di origine molto attrattiva avrà un peso maggiore rispetto ad un altro che si muove da una zona meno accessibile.

La formulazione matematica di tale modello è la seguente:

$$R_{j,t} = \sum_{i=1}^I E_{ij} * P_{it-1}$$

$$P_{it-1} = [E_j * [R_{j,t-1} / E_i]]$$

dove:

$R_{j,t}$ è il PlaceRank di j nell'iterazione t

I è il numero totale di zone i collegate alla zona j

E_{ij} è il numero di persone che si spostano dalla zona i per raggiungere un'attività nella zona j

P_{it-1} è il peso di ogni persona che si sposta da i nell'iterazione precedente

E_j è il numero di persone originario destinato a j , con

$$E_j = \sum_i E_{ij}$$

$R_{j,t-1}$ è il PlaceRank di j nell'iterazione precedente

E_i è il numero di persone originario residenti in i , con

$$E_i = \sum_j E_{ij}$$

Il *Place Rank* ridistribuisce il numero totale di persone coinvolte nelle attività ed è calcolato in funzione dell'attrattività delle zone e del peso dei collegamenti. Queste elaborazioni vengono effettuate per ogni zona ed in maniera iterativa finché due successive interazioni forniscono lo stesso valore di *Place Rank*.

Dalle prime applicazioni pratiche di questa nuova misura, dal suo impiego nell'ambito del caso studio relativo alle Twin Cities, e dal suo confronto con indici ampiamente diffusi in letteratura (*cumulative opportunity* e *gravity-based accessibility measure*), si evince che le tre diverse misure forniscono risultati piuttosto simili, sebbene non identici.

Da ciò i ricercatori hanno osservato che questo nuovo indicatore sembra essere una promettente misura di accessibilità.

6.3. Il Place Rank: analisi critica

Come si è detto, il *Place Rank* è una nuova misura di accessibilità che tiene conto del numero di opportunità che un individuo lascia nella sua zona di origine per raggiungere un'opportunità di un'altra zona e dell'importanza delle zone stesse.

Gli autori sostengono che, in questo caso, la funzione di impedenza (componente fondante delle misure di accessibilità) è incorporata nella matrice Origine/Destinazione poiché le scelte attuali di origine e destinazione sono note.

Affermano poi che il vantaggio principale di questo indicatore è che esso prescinde dalla conoscenza dei tempi e costi di trasporto, pertanto si ha una minore necessità di dati, mentre lo svantaggio di questa misura è dovuto alla complessità di calcolo.

La formulazione originale del *Place Rank* e le affermazioni suddette sono state oggetto di considerazioni critiche nell'ambito della presente ricerca e risultano alquanto discutibili per le ragioni di seguito riportate.

Come ampiamente concordato in letteratura, una caratteristica fondante dell'accessibilità è la sua contemporanea dipendenza da variabili territoriali e trasportistiche, legame che si verifica solo implicitamente nella formulazione originale del *Place Rank*.

Infatti si ritiene eccessivamente semplicistico dichiarare che la funzione di impedenza è inclusa nella matrice O/D, anche perché essa è costante, pertanto l'impedenza non varia al variare delle caratteristiche del sistema di trasporto.

Pertanto, avendo eliminato nella misura di accessibilità la sua dipendenza funzionale dall'impedenza, i risultati valutano la stessa solo per effetto delle attività presenti nelle zone e prescindono dal tempo/costo di trasporto.

In definitiva l'indice così formulato non è sensibile in maniera diretta alle variazioni del sistema dei trasporti, sia strutturali che di gestione; più esplicitamente l'accessibilità di una zona non varia, ad esempio, se si costruisce una strada, una linea di metropolitana, un parcheggio, etc.

Quanto appena esposto costituisce forti limiti della misura *Place Rank* così come formulata nella sua versione originale, che quindi è in forte contrasto con il concetto di accessibilità e con le sue principali caratteristiche, come ampiamente concordato in letteratura.

Ciò apre prospettive al miglioramento di tale indice, che sono state esaminate nell'ambito del presente studio, come meglio esposto nel seguito.

6.4. Un nuovo indice di accessibilità: Place&Time Rank

Al fine di cercare di superare i limiti che la misura di accessibilità *Place Rank* presenta discussi in precedenza appare necessario apportare alcune modifiche migliorative alla formulazione della stessa.

In particolare si ritiene opportuno innanzitutto inserire in maniera esplicita nella formulazione matematica dell'indice una funzione di impedenza, che esprima la sua dipendenza funzionale dell'accessibilità dal costo generalizzato di trasporto.

Pertanto il nuovo indice proposto in questa ricerca, ottenuto modificando la versione originale del *Place Rank*, viene denominato *Place&Time Rank*, e la sua formulazione è:

$$R_{j,t} = \sum E_{ij} * P_{it-1} * P_k \quad \text{è il Place\&Time Rank di } j \text{ nell'iterazione } t$$

con:

$$P_{it-1} = E_j * R_{j,t-1} / E_i \quad \text{è il peso di ogni persona che si sposta da } i \text{ nell'iterazione precedente}$$

$$P_k = T_i / T_j \quad \text{è il peso del collegamento tra } i \text{ e } j \text{ dovuto al sistema di trasporto}$$

Rispetto alla misura nella sua prima espressione, il *Place&Time Rank* contiene il termine P_k che tiene conto del costo generalizzato di trasporto, che nel caso in esame si è assunto pari al tempo di percorrenza.

La nuova misura di accessibilità così definita è stata applicata ad un caso studio, assieme alla versione originale e ad un altro indicatore largamente utilizzato, in modo da testare la sua validità ed utilità ai fini della valutazione di progetti in un contesto di pianificazione integrata del territorio e dei trasporti. È stato inoltre condotto un confronto tra i risultati forniti dalle varie misure.

7. Accessibilità e centralità

Il tema dell'accessibilità fin qui discusso, oggetto di dibattito scientifico da parte di ricercatori afferenti a diverse discipline (pianificazione territoriale, trasporti, geografia ed economia), presenta alcune similarità con il concetto di *centralità*, storicamente proprio delle scienze sociali.

La definizione di questa, così come dell'accessibilità, non è univoca poiché, come verrà mostrato nel seguito, esistono diversi modi di essere centrale.

Un recente approccio⁶⁷ mostra inoltre come le misure di centralità siano uno strumento molto utile nell'analisi dei network urbani poiché consentono di sintetizzare informazioni quantitative relative a proprietà dei sistemi considerati che altrimenti sarebbe difficoltoso rappresentare.

7.1. Network complessi e centralità

Negli ultimi anni la ricerca condotta nell'ambito della fisica dei sistemi complessi insieme alla teoria dei grafi ha prodotto nuovi strumenti per la valutazione della struttura di reti; i risultati delle applicazioni mostrano che esistono numerose analogie tra diversi sistemi e questi permettono un approccio più semplice e generale nell'analisi dei *network*.

Recenti studi mostrano infatti che, sotto l'apparente disordine dei sistemi organizzati (internet, reti biologiche e sociali, reti di trasporto), è possibile individuare i segni di un ordine nascosto. Questi sono stati appunto definiti "sistemi complessi".

L'area della ricerca scientifica che indaga i sistemi complessi attraverso l'uso della metafora di "rete" e della matematica dei grafi, nota come *network community*, ha raggiunto notevoli risultati che mostrano come i sistemi auto-organizzati (che vanno da sistemi naturali a tecnologici, da sistemi chimici a biologici fino a sistemi di relazioni economiche e culturali) considerati appunto *network*, condividono proprietà topologiche del tutto simili relative alla loro struttura relazionale, indipendentemente dalla natura degli oggetti coinvolti (Barabasi, 2002).

⁶⁷ Porta e Latora, 2006.

A partire dall'analisi di una grande varietà di tali sistemi è stato possibile definire proprietà comuni a diversi network, ed in particolare di essere caratterizzati da:

- una struttura fondata su pochi nodi connettori, cosiddetta *Scale-free*⁶⁸, e tipica ad esempio dei sistemi di trasporto metropolitano;
- dall'estrema vicinanza dei collegamenti tra i nodi⁶⁹, nonostante le dimensioni dell'intera rete (dette anche reti *Small World*).

I sistemi complessi *Small World* e *Scale-free* si possono definire come particolari strutture di rete composte da un gran numero di unità interconnesse tra loro che scambiano informazioni dinamicamente ed evolvendosi nel tempo; alcuni esempi sono i sistemi biologici e chimici, le interazioni ed i rapporti sociali, il World Wide Web ed Internet.

Nello specifico le reti *Scale-free* sono caratterizzate dalla presenza di un certo numero di nodi, detti *hub*, aventi un numero di connessioni molto maggiore degli altri (v. Fig. 33); rientrano in questa categoria le reti aeroportuali (con struttura *hub-and-spoke*), le reti di trasporto metropolitano ed internet.

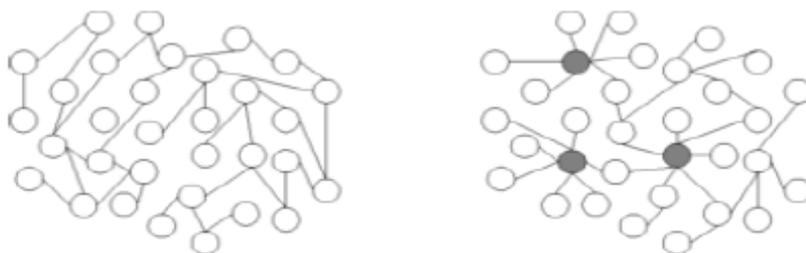


Fig. 33 - Esempio di rete *Random* (a sinistra) e *Scale-free* (a destra)

Invece le reti *Small World* sono principalmente definite da due misure: L (*Characteristic Path Length*) che definisce la distanza media tra due nodi qualsiasi del sistema, e C (*Clustering Coefficient*) che misura quanto i nodi siano localmente interconnessi. Le reti *Small World* sono caratterizzate da bassi valori di L ed elevati di C (v. Fig. 34), ed in pratica costituiscono una via di mezzo tra reti completamente ordinate e reti random.

⁶⁸ Barabasi e Albert, 1999.

⁶⁹ Watts e Strogatz, 1998.

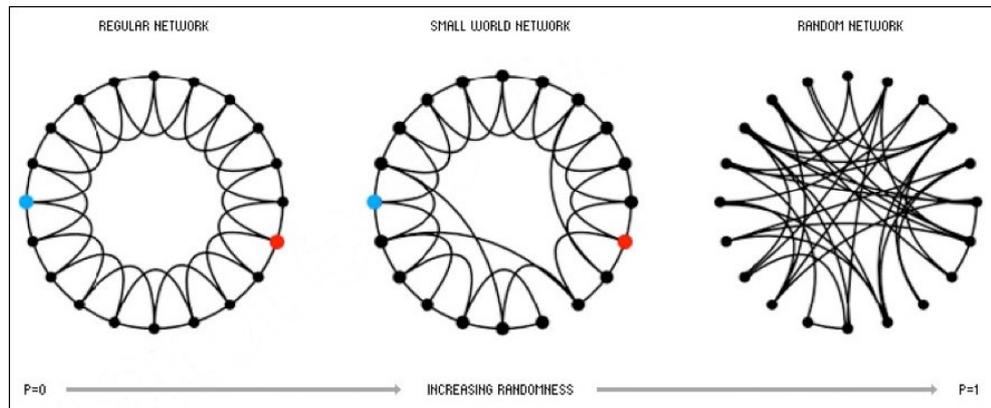


Fig. 34 - Esempio di rete *Small World* (Watts e Strogatz, 1998)

Questi particolari sistemi fisici sono stati oggetto, negli ultimi dieci anni, di numerosi studi tesi a determinare le proprietà comuni a diversi tipi di rete e le loro dinamiche. Grazie alle proprietà di tali sistemi è possibile modellizzare vari tipi di reti reali, al fine di determinare gli elementi chiave necessari a garantire la più completa efficienza della rete stessa.

Si sottolinea che le stesse proprietà caratterizzano tali sistemi anche nel caso in cui essi siano non-pianificati, come le vecchie città auto-organizzate, sotto il cui “apparente disordine”⁷⁰ è possibile individuare i segni di un ordine nascosto, come se il sistema urbano si fosse evoluto seguendo regole comuni ai sistemi auto-organizzati, naturali e complessi, quali quelli sociali, biologici o tecnologici⁷¹.

In questi sistemi la *centralità* riveste un ruolo fondamentale poiché essa emerge come la variabile principale che, tecnicamente, rende possibile il riconoscimento delle regole comuni dei sistemi auto-organizzati, e come elemento cardine nell’evoluzione della forma geografica di tali sistemi.

⁷⁰ Jacobs, 1961.

⁷¹ Porta e Latora, 2006.

7.2. Forma urbana e centralità

La centralità riveste un'importanza decisiva nell'analisi urbana. È evidente che un luogo centrale offre particolari caratteristiche a chi vive e lavora in una città: ha grande visibilità, è facile accedervi sia dal quartiere in cui si trova sia dalle zone periferiche, è molto frequentato da passanti. Inoltre è più probabile che un posto centrale diventi un polo di attrazione, che la sua localizzazione sia adeguata per funzioni primarie o sedi centrali e che offra un'ampia varietà di opportunità.

Ed è proprio per queste ragioni che le aree più centrali sono caratterizzate da un elevato valore immobiliare e possono diventare socialmente esclusive poiché le qualità connesse alla centralità attraggono utenti con maggiori disponibilità economiche.

Tuttavia la centralità non è solo il nucleo della vita urbana contemporanea, essa è stata il cuore di quel processo incrementale che ha reso le nostre città quello oggi sono. In effetti, nella maggior parte dei casi, i centri delle prime città sono sorti in corrispondenza dell'intersezione tra due strade principali o di un posto che si configurava come un passaggio obbligato a causa della conformazione geografica, del sistema fluviale o delle coste. Le città sono poi cresciute a partire da tale luogo centrale, arricchendosi di edifici ed insediamenti di attività; in seguito, aumentando la complessità della struttura, sono state formate nuove strade, nuovi luoghi centrali ed edifici e attività intorno a questi. Questo è il processo evolutivo che ha accompagnato la crescita degli sistemi urbani fino all'inizio dell'era moderna e dell'età industriale.

Nonostante l'evidente rilevanza della centralità in ambito urbano, questo tema raramente è stato approfondito dai pianificatori con approcci scientifici; i principali studi in merito sono da attribuirsi alla sociologia strutturale.

Secondo l'approccio dei sociologi un insieme di persone può rappresentarsi come una rete in cui i nodi (*nodes*) sono le persone e gli archi (*edges* o *links*) sono le relazioni⁷².

Per primo Bavelas (1948) intuì che, nella struttura del *network*, una posizione *centrale* corrisponde a potere in termini di indipendenza dagli altri ma anche influenza e controllo su di essi.

Da allora si sono succedute numerose definizioni di indici di centralità; un breve sunto viene riportato nel seguito.

⁷² Wasserman e Faust, 1994.

7.3. Indici di centralità

Alla fine degli anni Settanta, Freeman (1977, 1979) coordinò le ricerche presenti in letteratura in materia di centralità e definì alcuni indici: *degree centrality* C^D , *betweenness centrality* C^B , *closeness centrality* C^C .

I recenti studi relativi ai sistemi complessi hanno evidenziato che i *network* presentano alcune proprietà strutturali comuni, già definite nel paragrafo 7.1 del presente capitolo, tipiche dei sistemi *Small Worlds* e *Scale-free*. La proprietà dei *network Scale-free* è legata alla *centralità*, in particolare al numero delle connessioni (*degree*) di un nodo ovvero la misura di centralità prima definita come C^D .

Per la definizione formale di tali indici si consideri un *network* urbano rappresentato da un grafo $G=(N, K)$, ovvero un'entità matematica definita dagli insiemi N e K , dove N è l'insieme di N elementi chiamati nodi (*nodes*), invece K è l'insieme di K elementi chiamati archi (*links* o *edges*) che collegano coppie di nodi. Gli archi riproducono le strade in corrispondenza della mezzeria mentre i nodi rappresentano le intersezioni tra strade.

Spesso risulta conveniente considerare un *grafo pesato* $G=(N, K, W)$, definito, oltre che da N e K , anche dall'insieme W ; quest'ultimo è composto da K elementi (quindi uguale al numero di archi) che costituiscono valori numerici assegnati agli archi e misuranti il "peso" degli archi stessi.

Nel caso di un grafo *spaziale* (o *geografico*), piuttosto che con i *pesi* degli archi risulta utile lavorare con le loro *lunghezze*; nell'ambito della pianificazione dei trasporti sarebbe ancora più conveniente caratterizzare ciascun arco con il proprio costo generalizzato del trasporto.

Il percorso minimo d_{ij} tra i e j viene differentemente definito a seconda che il grafo considerato sia pesato o non pesato.

In un grafo non pesato d_{ij} è pari al numero minimo di nodi attraversati (incluso quello di origine) per andare da i a j . Invece nel caso di grafo pesato, il percorso minimo d_{ij} tra i e j è una lunghezza data dalla somma minima delle lunghezze degli archi tra tutti i percorsi possibili nel grafo che connettono i a j .

Si espongono nel seguito i principali indici di centralità presenti in letteratura; oltre quelli prima citati e riportati in Freeman (1977, 1979) per completezza verranno illustrati anche quelli di più recente formulazione emersi nell'ambito della ricerca sui sistemi complessi e la *network analysis* (Porta e Latora, 2006) e

nello specifico: *efficiency centrality* e *straightness centrality*; infine verrà richiamata la *eigenvector centrality*.

7.3.1. Centralità come vicinanza agli altri

Questo concetto è espresso dai due indici C^D e C^C .

La *degree centrality* proviene dall'idea che un nodo i è tanto più importante quanto più grande è il numero k di archi che in esso convergono, detto grado; pertanto la *centralità di grado* viene definita:

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

La *closeness centrality* misura quanto un nodo sia vicino a tutti gli altri nodi lungo i percorsi minimi d_{ij} del network ed è definita come:

$$C_i^C = \frac{N-1}{\sum_{j=1, j \neq i}^N d_{ij}}$$

Da tale definizione si evince che C^C è una misura della distanza media di un nodo i da tutti gli altri nodi: dato un insieme di nodi, un nodo è tanto più "centrale" quanto minore è la sua distanza media dagli altri nodi, se invece il nodo è ai margini dell'insieme, la sua distanza media è maggiore.

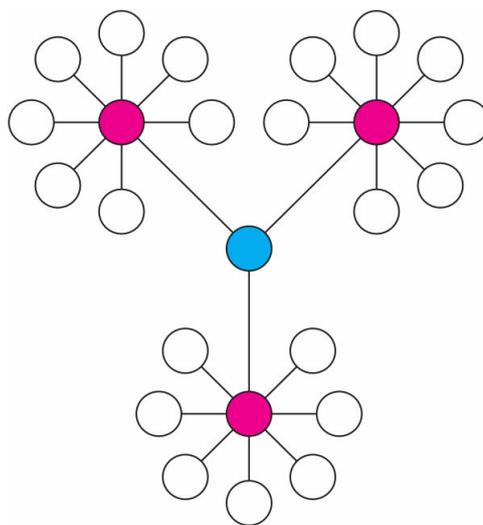


Fig. 35 - Esempio di *degree centrality* e *closeness centrality* (Junker et al., 2006)

In Fig. 35 è riportato un network in cui è possibile distinguere, sulla base delle suddette definizioni, i nodi più importanti in termini di *degree centrality* (in rosso), che sono altamente connessi con altri nodi della rete poichè in essi convergono numerosi archi, e di *closeness centrality* (in blu), caratterizzati dal minimo valore di somma delle distanze dei percorsi minimi che vi convergono.

L'idea di prossimità espressa dalla C^C è una componente dell'accessibilità; infatti, come ampiamente discusso, nella prima parte del presente Capitolo, tra gli elementi che condizionano l'accessibilità vi è sempre un fattore legato all'impedenza, che nel caso di questa misura di centralità è espressa mediante la distanza spaziale.

Tuttavia il *costo* da sostenere affinché possano intercorrere relazioni di vario genere tra i luoghi è influenzato da numerosi fattori (ad es. tempo, comfort, etc), com'è stato largamente mostrato; pertanto è riduttivo assumere, ai fini dell'accessibilità, che l'impedenza sia pari al percorso minimo.

7.3.2. Centralità come essere tra gli altri

La centralità di *medietà* C^B è fondata sull'idea che le interazioni tra due nodi non adiacenti dipende dai nodi intermedi che, di conseguenza possono rivestire un ruolo strategico di influenza su di essi. Se si assume che la comunicazione avviene solo lungo i percorsi minimi, un nodo è tanto più centrale quanto esso è attraversato dai percorsi minimi che connettono ogni coppia di nodi del network. In tal caso la centralità di *betweenness* del nodo i è data da:

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

in cui n_{jk} è il numero di percorsi minimi tra i nodi j e k mentre $n_{jk(i)}$ è il numero di percorsi minimi tra j e k passanti per il nodo i .

Nel network riportato in Fig. 36 sono stati evidenziati i valori di *betweenness centrality* dal più basso (in rosso) al più elevato (in blu): i nodi che si trovano ai confini della rete sono, ovviamente, i meno centrali mentre quelli caratterizzati da elevati valori di centralità di medietà sono localizzati al cuore della rete e sono attraversati da numerosi archi.

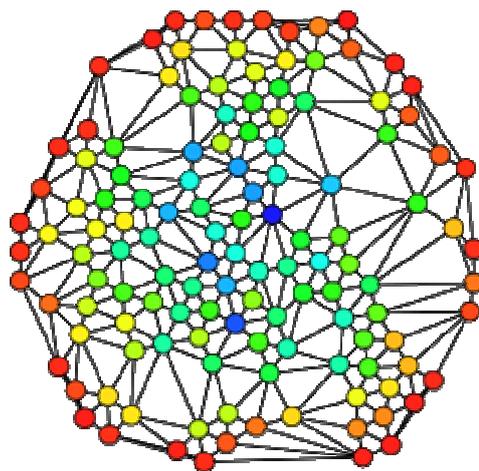


Fig. 36 - Esempio di analisi di *betweenness centrality*

L'idea espressa da questa misura appare particolarmente interessante se si considerano le sue potenziali applicazioni nell'ambito della pianificazione e, nello specifico, nella scelta strategica delle localizzazioni.

Risulta interessante, anche da un punto di vista trasportistico, un particolare tipo di *betweenness*, più completa rispetto a quella precedentemente definita poiché contempla il fatto che, nelle interazioni tra due nodi non direttamente collegati, non vengono utilizzati solo i percorsi minimi bensì possono essere utilizzati tutti i possibili collegamenti tra coppie di nodi della rete.

La *flow betweenness centrality* tiene conto del fatto che il flusso (di informazioni, veicoli, etc.) su un arco non dipende solo dalla capacità⁷³ di quello specifico arco ma da tutti i percorsi, sia diretti che indiretti, che collegano i nodi di origine e destinazione.

La Fig. 37 rappresenta il caso in cui due vasti gruppi sono connessi soltanto attraverso pochi elementi, rappresentati dai nodi A, B e C; in tal caso è di facile intuizione che, secondo la definizione di *shortest path betweenness* solo i nodi A e B sono caratterizzati da elevati valori di centralità, al contrario di C poiché esso non è attraversato dal percorso minimo. Tuttavia è plausibile supporre che, in situazioni reali analoghe a quella schematizzata (ad es. scambio di informazioni, percorso stradale, etc.), anche C venga coinvolto nell'interazione tra i gruppi.

⁷³ La capacità di un'arco della rete può essere definita come il massimo flusso ammissibile in un dato intervallo di tempo ed è funzione delle caratteristiche dell'arco stesso.

Pure la misura di *flow betweenness* fornisce in alcuni caso risultati in contrasto con la logica; a tal proposito si consideri la Fig. 38: dalle elaborazioni⁷⁴ si ha che, ancora in questo caso, i maggiori valori di *centrality* vengono attribuiti ai nodi A e B mentre C ha una scarsa centralità, anche se dal gruppo 1 al 2 sia i percorsi diretti via A e B che e quello passante per C hanno la stessa lunghezza. Al contrario si direbbe, ad intuito, che anche C risulti coinvolto.

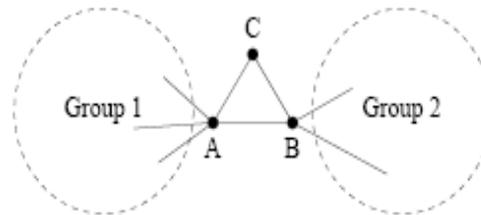


Fig. 37 - Esempio di *shortest path betweenness* (Newman, 2005)

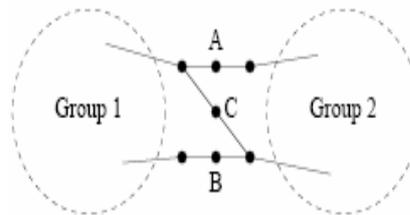


Fig. 38 - Esempio di *flow betweenness* (Newman, 2005)

7.3.3. Centralità come essere raggiungibili linearmente dagli altri

La *straightness centrality* C^S si fonda sull'idea che l'efficienza (vista come centralità) nel collegamento tra due nodi cresce tanto più il percorso che li collega si avvicina ad una linea retta. Pertanto la centralità di *direttività* viene definita:

$$C_i^S = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1, j \neq i}^N \frac{d_{ij}^{Eucl}}{d_{ij}}$$

essendo d_{ij}^{Eucl} la distanza euclidea tra i nodi i e j .

⁷⁴ Newman, 2005.

In realtà la centralità di *straightness* può considerarsi un caso particolare dell'*efficiency centrality*, secondo cui l'efficienza nella comunicazione tra due nodi i e j è uguale all'inverso della lunghezza del percorso minimo d_{ij} . La misura di C^E è data da:

$$C_i^E = \frac{\sum_{j \in N, j \neq i} \frac{1}{d_{ij}}}{\sum_{j \in N, j \neq i} \frac{1}{d_{ij}^{Eucl}}}$$

7.3.4. Eigenvector⁷⁵ centrality

Definita per la prima volta da Bonacich (1972) nell'ambito delle reti sociali, questa misura valuta l'importanza di un nodo in base alle sue connessioni con altri nodi importanti.

Si tratta di una versione più sofisticata della *degree centrality* ma, mentre questa si limita a contare il numero di connessioni che un nodo possiede, la *eigenvector centrality* valuta anche il fatto che non tutte le connessioni sono uguali. In particolare hanno *peso* maggiore i link che connettono nodi più importanti rispetto ad altri, pertanto un nodo può definirsi centrale se connette altri nodi centrali.

Questa accezione di centralità è simile all'idea di base della misura di accessibilità PlaceRank definita al paragrafo 6.2 di questo Capitolo; in effetti il PageRank di Google è una variante della misura eigenvector centrality.

7.3.5. Confronto tra le misure di centralità

Per avere una visualizzazione diretta della differenza tra le nozioni di centralità fin qui discusse si consideri la rete riportata in Fig. 39.

Il nodo caratterizzato dal più alto valore di *degree* è j , in esso infatti converge il maggior numero di link.

La *closeness* più elevata si riscontra invece nel nodo i poiché è minore la sua distanza media dagli altri nodi.

⁷⁵ Il termine *eigenvector* si traduce in lingua italiana con il termine autovettore (anche detto "vettore caratteristico"), concetto base dell'algebra lineare e mutuato dalla teoria dei grafi e dalla network analysis.

In *h* si ha la maggior *betweenness* poiché la sua localizzazione è tale che esso viene attraversato dal maggior numero di percorsi minimi che collegano ogni coppia di nodi del network.

Infine *d* è il nodo più importante in termini di *eigenvector centrality* poiché è connesso ad altri nodi che sono valutati come centrali.

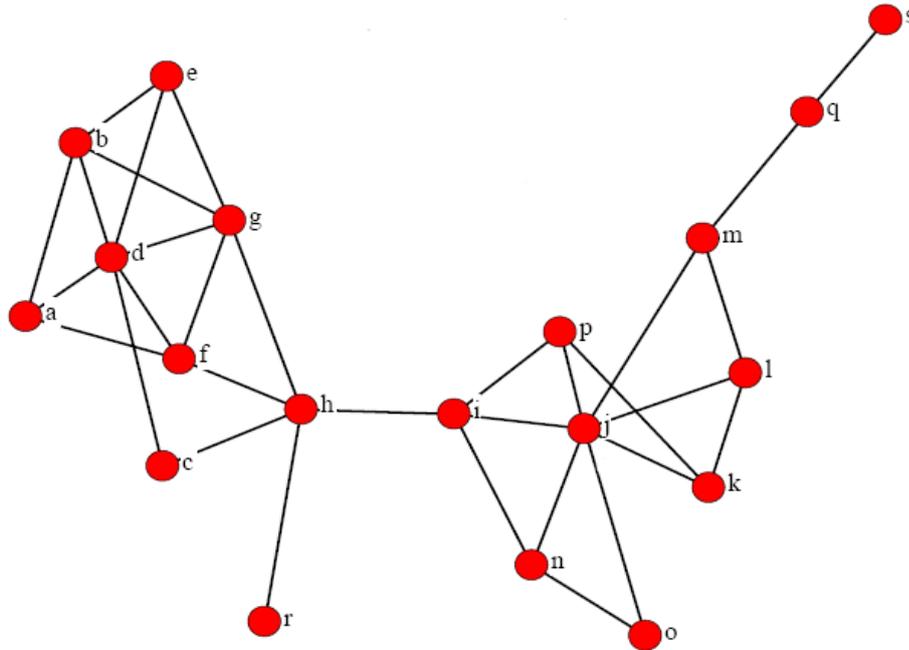


Fig. 39 - Esempio di *network*

7.4. Analisi di centralità

In letteratura sono presenti numerose ricerche condotte ai fini dell'analisi urbana ma molte di queste sono di tipo teorico. È di recente formulazione (Porta e Latora, 2006) un metodo di analisi spaziale, chiamato *Multiple Centrality Assessment (Mca)*, nato nell'ambito della scienza dei sistemi complessi a rete e rivolto alla pianificazione e progettazione urbana sostenibile. Tale strumento consiste in un'applicazione di analisi urbana, territoriale e spaziale finalizzata alla misurazione delle centralità nei sistemi urbani, utilizzando gli indici di centralità precedentemente riportati.

Mediante la *Mca* sono state studiate le correlazioni tra centralità e struttura funzionale della città, considerando le molteplici accezioni della centralità stessa: essere vicini a, essere tra, essere raggiungibili in modo linearmente diretto da. Da questi studi si evince che uno stesso luogo può essere contemporaneamente centrale e marginale, a causa del fatto che esistono diversi modi di essere

centrale. Ma in ogni caso è emerso un profondo legame tra le centralità e cruciali elementi della armatura funzionale nella struttura degli spazi pubblici urbani; questo rapporto condiziona la vita sociale, l'economia e l'evoluzione urbana. Ad esempio i luoghi centrali in termini di *betweenness* sono spesso caratterizzati dalla presenza di piccole attività commerciali e servizi di comunità (v.Fig. 40).

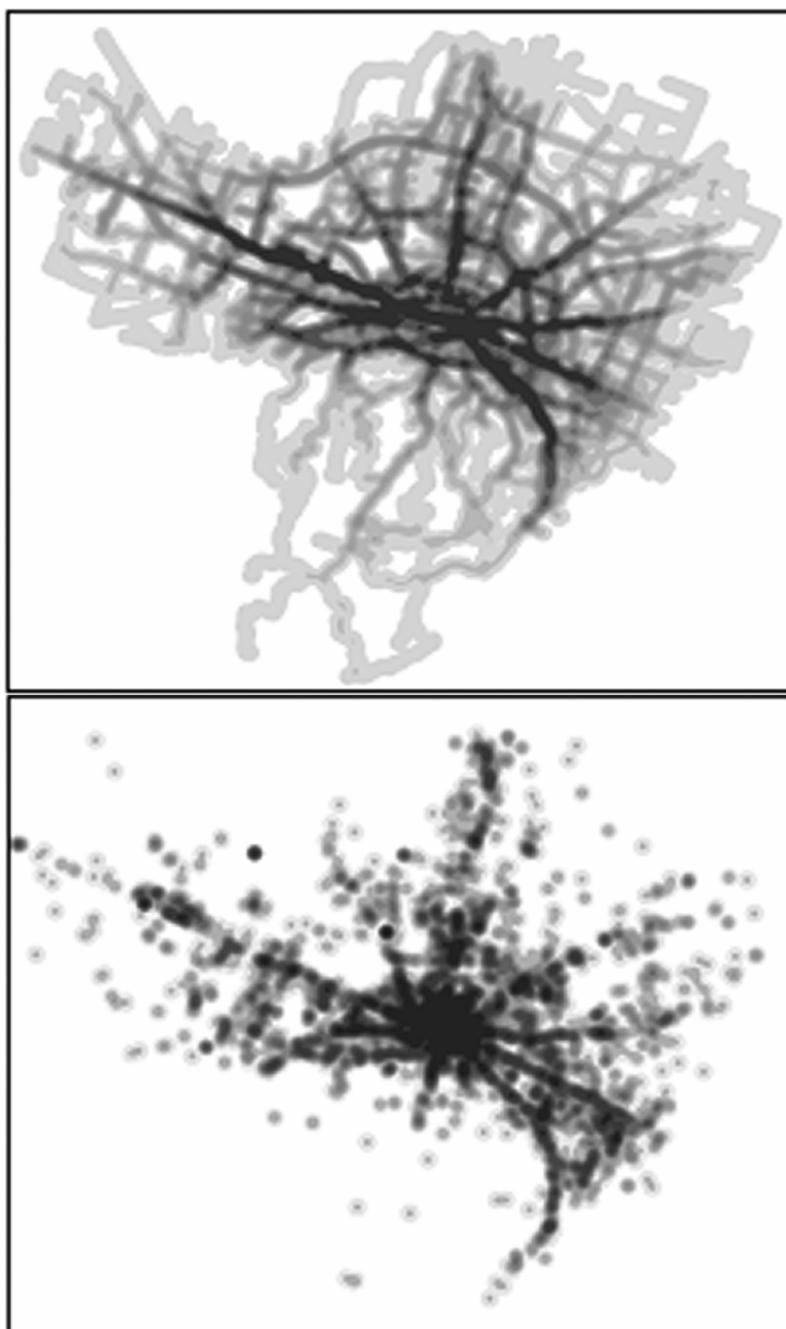


Fig. 40 - Bologna: correlazioni tra centralità di *betweenness* (sopra) e localizzazione (sotto) di attività di comunità (Porta e Latora, 2006)

Ed in effetti si ha che la struttura dello spazio urbano è differente a seconda che vi sia un'economia di tipo origine-destinazione (*closeness*), di passaggio (*betweenness*) o piuttosto legata all'orientamento nella rete stradale (*straightness*).

È necessario sottolineare che la centralità (o la marginalità) di un luogo non varia solo a causa della nozione di centralità scelta bensì dipende anche dalla "scala" considerata; in effetti è chiaro che un luogo può essere centrale se considerato ad livello un territoriale più vasto (ad es. provinciale) mentre può essere marginale in senso locale.

Inoltre le ricerche condotte utilizzando la procedura *Mca* hanno preso in considerazione e confrontato differenti tipologie di tessuti urbani, aventi sia struttura storica, e quindi apparentemente "disordinata", che pianificata; le elaborazioni condotte hanno stabilito che i tessuti medievali auto-organizzati risultano più efficienti degli altri in termini di centralità e pertanto si avvicinano ai sistemi *Small Worlds*.

Fondato sulla *Multiple Centrality Assessment* è lo strumento di analisi urbana, realizzato dallo HSL⁷⁶ e dal INFN⁷⁷ di Catania, denominato *Spatial Hotspotter* che consente la mappatura delle centralità e la misurazione della correlazione tra queste e le dinamiche urbane, come ad esempio la distribuzione spaziale di particolare attività, poiché lavora in ambiente GIS.

Una sua applicazione tipica consiste nella individuazione di *hot spot*, cioè *punti caldi* di una rete dotati di maggiore potenziale di popolarità, interazione umana e attrattività commerciale, e nella produzione di mappe che visualizzano luoghi e strade più centrali nella scala cromatica dei rossi e quelli più marginali nella scala dei blu (v. Fig. 41).

La realizzazione di studi di questo tipo trova utile impiego sia al livello della programmazione territoriale e urbanistica che al livello più di dettaglio della progettazione urbana.

⁷⁶ Human Space Lab è un Laboratorio del Dipartimento di Architettura e Pianificazione presso il Politecnico di Milano.

⁷⁷ Istituto Nazionale di Fisica Nucleare.

In effetti la valutazione delle centralità consente di attraversare i temi relativi alla coerenza tra politiche di riqualificazione degli spazi pubblici, mobilità sostenibile, sicurezza sociale e di rivitalizzazione economica utilizzando strumenti di analisi scientificamente fondati, e che forniscono output di chiara comprensione e subito utilizzabili per interpretazioni e spunti di riflessione all'interno di strategie partecipative.

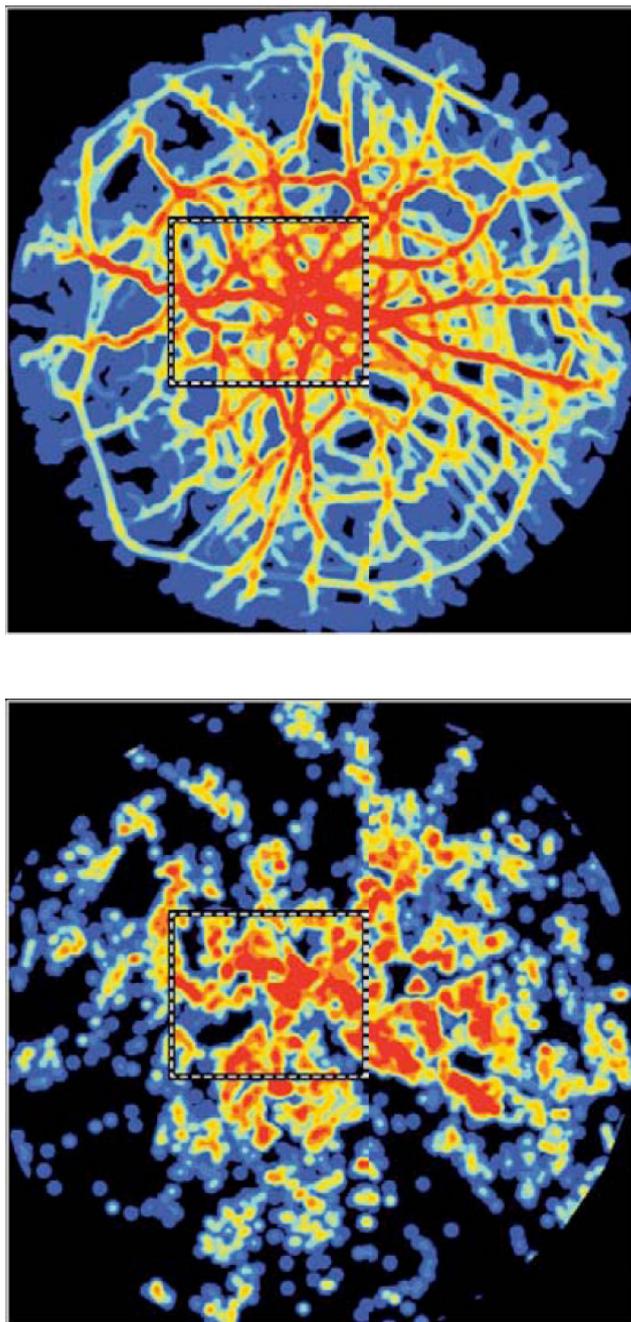


Fig. 41 - Roma: densità di *betweenness* (sopra) e densità di negozi e servizi al piano terra (sotto)
(www.humanspacelab.com)

7.5. Analisi di centralità e analisi di accessibilità

Come anche visto in precedenza, centralità ed accessibilità condividono alcune componenti; in particolare la *closeness centrality* esprime una nozione di prossimità necessaria per interpretare le proprietà di accessibilità di un certo luogo. Ma sarebbe riduttivo pensare che le misure di centralità includono quelle di accessibilità. In effetti le valutazioni di centralità sono analisi prettamente spaziali e pertanto basate soltanto su dati topologici (distanza, numero di nodi e di archi). Invece le misure di accessibilità comprendono un più ampio spettro di fattori, sia trasportistici (tempo di spostamento, frequenza, comfort, etc.) che territoriali (attività presenti, residenti, addetti, etc.)

Pertanto, pur mostrando similarità, le nozioni e di conseguenza le misure di centralità ed accessibilità sono differenti; tuttavia può risultare interessante effettuare entrambe le analisi mediante i relativi indici sul medesimo caso studio e confrontare i risultati conseguiti, sia per esaminare le proprietà di un nodo da entrambi i punti di vista che per valutare l'eventuale congruità dei risultati ottenuti con le differenti metodologie. A tal fine è necessario puntualizzare alcune differenze operative sostanziali.

Tradizionalmente un'analisi di accessibilità viene condotta suddividendo l'area di studio in "zone", la cui dimensione può variare a seconda del tipo di valutazione che deve essere realizzata, dalla scala territoriale e dalla disponibilità di dati necessari per le elaborazioni. Poi ai fini trasportistici ogni zona viene caratterizzata mediante un "centroide di zona", una sorta di centro di gravità che rappresenta tutte le origini e le destinazioni degli spostamenti interni alla zona stessa, generalmente localizzato in prossimità del baricentro (virtuale) delle attività presenti. In genere un'analisi di accessibilità fornisce valori *zonali* di tale indice.

L'analisi delle centralità invece è formulata ad una scala di maggiore dettaglio in cui i nodi rappresentano le intersezioni stradali e pertanto si ottengono valori *puntuali* di centralità.

È chiaro dunque che per confrontare i due tipi di valutazione è necessario lavorare alla stessa "scala".

Nel capitolo successivo, dopo la prima parte relativa alla caratterizzazione del caso di studio, verranno condotte le analisi di accessibilità e delle centralità utilizzando alcune delle misure presenti in letteratura ed introducendo qualche approssimazione necessaria per il confronto delle metodologie.

Capitolo 4

IL CASO DELLA PROVINCIA DI SIRACUSA

1. La scelta del caso studio

La provincia di Siracusa costituisce un interessante caso da esaminare come esempio di pianificazione integrata del territorio e dei trasporti in quanto nel 2009 è stato approvato dalla giunta provinciale lo Schema di massima del Piano Territoriale Provinciale (PTP) mentre è in corso di redazione il Progetto di piano.

Il PTP, denominazione siciliana del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, è stato istituito mediante la L.R. n. 9/86, quindi in anticipo rispetto alla L.N. n.142/90 sul riordino dei ruoli e delle competenze degli Enti locali; a causa di ciò il PTP siciliano ha funzioni e compiti ridotti rispetto al corrispondente nazionale ed inoltre non vi è una modalità specifica per la sua costruzione, tanto che vengono seguite le procedure proprie dei piani regolatori comunali previste dalla L.R. 71/78.

Questo strumento di pianificazione generale ha effetti diretti e prescrittivi nel territorio provinciale, vale a dire in un contesto di area vasta; i suoi compiti principali afferiscono alla definizione dei principali elementi strutturali del territorio quali il sistema delle infrastrutture (sia della mobilità che delle altre reti), e impianti ed opere relativi a funzioni sovracomunali, come previsto dalla LR n.9/86 all'art. 12.

La circolare ARTA n. 1 del 11/04/2002 ha definito i contenuti minimi del PTP, con riferimento alle tre fasi della sua formazione (Documento Preliminare, Schema di Massima e Progetto di Piano) ed ha inoltre caratterizzato la struttura del Piano in Quadro conoscitivo (con valenza strutturale), Quadro propositivo (di tipo strategico) e Piano operativo, fornendo dettagliatamente per ciascuna parte i contenuti principali. Tra questi sono di particolare interesse per la presente ricerca i temi relativi alle reti di trasporto ed alle relative infrastrutture.

In effetti la Provincia Regionale di Siracusa, nell'ambito del PTP, ha provveduto alla contestuale formazione di un documento di "Analisi e Progetto del Sistema dei Trasporti". In realtà questo studio, come verrà meglio approfondito nel seguito, costituisce da una parte l'approfondimento dei temi relativi al settore "Mobilità di persone e merci" per quanto attiene al PTP e dall'altra l'indagine preliminare ai fini della futura redazione del Piano Provinciale dei Trasporti e della Mobilità (PPTM).

L'obiettivo del presente e del successivo Capitolo è di confrontare le principali azioni sul sistema dei trasporti a supporto della pianificazione territoriale definiti nel PTP con le criticità che si evincono dalle analisi di accessibilità e centralità e successivamente di esaminare gli effetti degli interventi pianificati sui valori di accessibilità e centralità. A tal fine la trattazione prevede inizialmente una breve parte descrittiva del territorio provinciale di Siracusa, cui segue un sunto di linee strategiche, obiettivi ed azioni del PTP con l'identificazione dei principali interventi trasportistici; quindi vengono riportate alcune elaborazioni tratte dallo Schema di massima relative al settore della mobilità e dei trasporti.

2. La provincia di Siracusa

Si estende nella parte più a sud del territorio italiano per una superficie di 2.109 kmq, ha una popolazione di quasi 403.000 abitanti ed è organizzata in 21 comuni; confina a nord con la provincia di Catania, ad ovest con le provincie di Catania e Ragusa, mentre nella parte orientale e meridionale è bagnata rispettivamente dai mari Ionio e Mediterraneo.

Il capoluogo è il comune più popoloso della provincia poiché in esso si concentra più di un terzo della popolazione; ad esso fanno seguito Augusta ed Avola, sempre sulla costa ionica, aventi popolazioni superiori ai 30.000 abitanti.

Floridia, che si trova in prossimità del capoluogo, è il comune più densamente popolato, con 800 abitanti per kmq; seguono Siracusa (606 abitanti per kmq) e Solarino (566 abitanti per kmq).

È peculiare poi il comune di Noto per l'estensione della sua superficie, superiore ai 550 kmq, che risulta maggiore del doppio di quella di Siracusa.

Il territorio provinciale è composto da due terzi di collina ed il restante pianura, molto articolato dal punto di vista geomorfologico e può distinguersi in quattro aree:

- la zona nord rientra nella cosiddetta Piana di Catania, costituita da terreni lavici pianeggianti;
- l'altopiano ibleo;
- la parte centrale della provincia, caratterizzata dalla presenza del fiume Anapo, è costituita da aree pianeggianti e collinari che fungono da collegamento con la zona iblea;
- la zona sud, pianeggiante e perlopiù circondata dal mare.

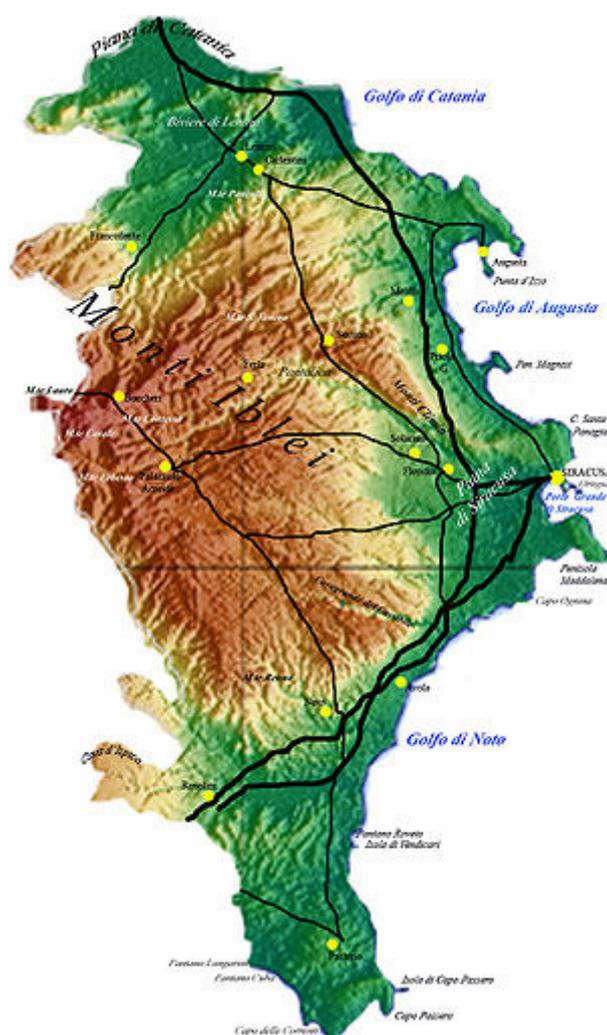


Fig. 42 - Cartina fisica della provincia di Siracusa

Data questa conformazione fisica della provincia, i comuni ubicati nelle aree interne raggiungono le quote massime nella parte centrale della stessa: Buccheri è a circa 820 m s.l.m., Buscemi supera i 750 e Palazzolo Acreide si attesta su 670 m s.l.m.; i centri abitati di Francofonte e Noto si trovano rispettivamente a circa 281 e 150 m s.l.m.

Considerando l'assetto naturalistico e socio-economico della provincia, questa è caratterizzata in particolare dalle seguenti componenti:

- l'importante patrimonio archeologico greco-romano (Siracusa, Palazzolo A., ecc) e artistico-architettonico barocco (Noto, Palazzolo A., ecc);
- la presenza di rilevanti Riserve Naturali Orientate quali Pantalica, Cavagrande del Cassibile e Vendicari;
- l'attrattività della costa marina ed il lussureggiante paesaggio perlopiù collinare, caratterizzato da colture quali olivo, mandorlo, carrubo e seminativo (cereali, ortaggi) ;
- l'esistenza di un rilevante polo petrolchimico, dotato di pontili di approdo, nel tratto di costa tra Augusta e Siracusa.

In merito alla competitività del territorio, la provincia di Siracusa ha un indice di dotazione di infrastrutture economiche (Fig. 43) di poco inferiore al valore medio italiano. Tale indicatore è così spinto verso l'alto grazie alle elevate performance delle infrastrutture portuali (362 contro 100 dell'Italia); difatti la provincia si posiziona al secondo posto nel Mezzogiorno (dopo Trapani) per questo tipo di dotazione e all'undicesimo fra le province italiane. Invece risulta molto contenuto l'indice relativo alla fornitura dei servizi alle imprese ed è fortemente deficitario quello relativo al sistema dei trasporti, con particolare riguardo alla mobilità su gomma e su ferro. Di contro buoni appaiono gli indici relativi alle strutture di telefonia e quelle energetico - ambientali.

Con riferimento alle infrastrutture sociali (Fig. 44), tutti gli indicatori relativi alle strutture sanitarie, per l'istruzione, culturali e ricreative sono inferiori ai valori medi sia dell'Italia che del Mezzogiorno.

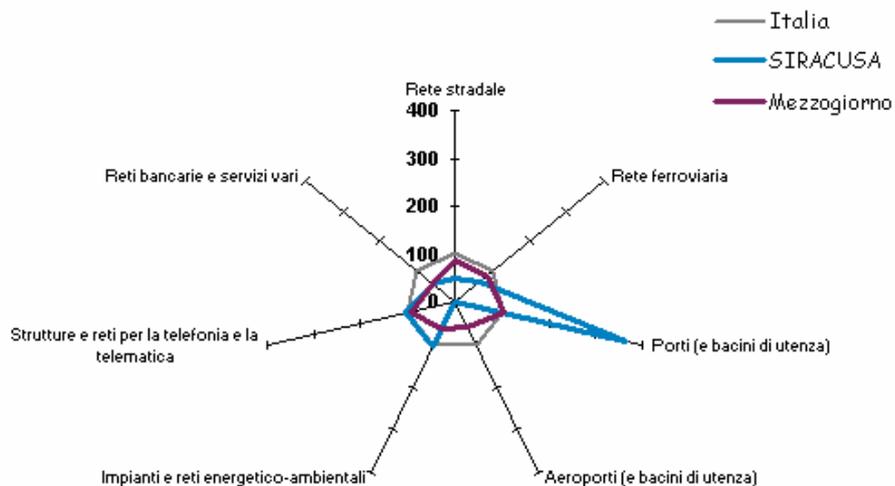


Fig. 43 – Indicatori delle infrastrutture economiche (Unioncamere, 2007)

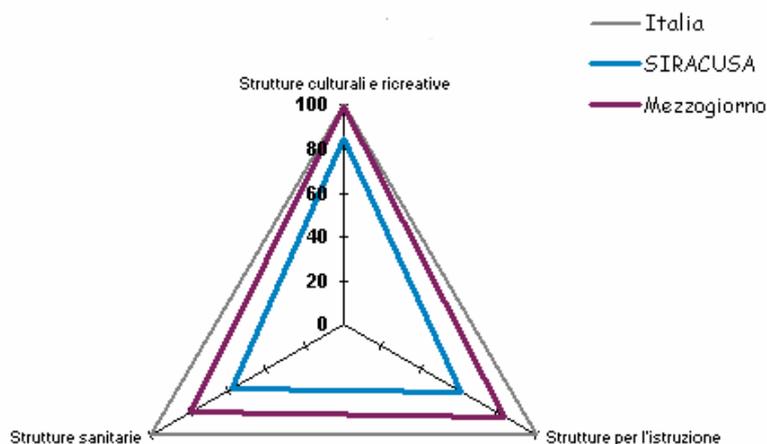


Fig. 44 – Indicatori delle infrastrutture sociali (Unioncamere 2007)

Una descrizione ben dettagliata contenuta nello Schema di Massima del PTP riguarda la caratterizzazione del territorio provinciale siracusano effettuata considerando per le varie zone i quadri ambientali ed relativi usi del suolo nonché i diversi caratteri insediativi.

Nel seguito se ne riporta un brevissimo sunto, procedendo dalla parte Nord verso quella Sud della provincia.

Il *sistema lentinese* comprende i comuni di Lentini, Carlentini e Francofonte ed è localizzato nella parte meridionale della piana di Catania verso il tavolato ibleo; in esso si ha una prevalenza di colture agrumicole alternate a seminativi.

Il *sistema montano* si sviluppa a partire dall'area più interna del comune di Carlentini, caratterizzata da urbanizzazione dispersa che si insedia ove reso possibile dalle condizioni orografiche. Sempre procedendo all'interno e verso Sud si erige il tavolato degli Iblei scarsamente antropizzato; si ha una concentrazione di insediamenti nei centri urbani di Palazzolo Acreide (di rilevante importanza poiché area archeologica, centro medievale e centro barocco), Canicattini Bagni (che spicca per il suo centro storico) e Sortino. Questo territorio è inoltre caratterizzato dalla presenza di valli ed in particolare dalla riserva della Cava Grande del Cassibile. Nella zona del fiume Anapo si ha un intenso uso agricolo e la considerevole presenza di insediamenti sparsi, prevalentemente rurali; gli unici elementi urbani di questa ampia porzione di territorio sono Floridia e Solarino.

Il *sistema megarese* inizia a Sud-Est del comune di Carlentini ove prevalgono sia terreni coltivati (agrumi e ortaggi) che aree incolte, oltre ad aree ricoperte da macchia mediterranea (soprattutto lungo i rilievi costieri). Per effetto delle sue peculiarità paesaggistiche ed ambientali (scogliere, cale, spiagge) è stata oggetto negli ultimi decenni di un processo di urbanizzazione (case sparse ma anche villaggi turistici). Proseguendo verso Sud si incontra un vasto piano inclinato verso il mare contornato a Sud da alture e ad Ovest dai monti Climiti; nonostante la ricchezza di beni archeologici in questo territorio vi è una forte antropizzazione legata alla presenza dei grandi complessi industriali tra Augusta, Melilli e Priolo Gargallo e delle infrastrutture ad essi connesse. A seguire si incontra la *conurbazione siracusana* che è sita in parte sul tavolato ibleo ed anche nella valle dell'Anapo. L'area urbana della città di Siracusa è fortemente articolata, effetto delle lunghe dinamiche dei diversi cicli di civilizzazione che si sono succeduti.

La *pianura centrale costiera* si estende a Sud della città di Siracusa ed è caratterizzata dalla presenza di un'agricoltura intensiva (agrumeti, mandorleti e colture orticole) cui sono connessi gli insediamenti dispersi presenti. Si ha poi

una forte urbanizzazione della costa a causa del grande richiamo turistico; a questi insediamenti si aggiungono l'agglomerato di Cassibile e il centro urbano di Avola.

Il *territorio di Noto* è perlopiù collinare e ricoperto di uliveti, mandorleti e agrumeti ed in esso si rileva la presenza di piccoli aggregati rurali e di una vera e propria urbanizzazione puntiforme (casolari e masserie). Una forte caratterizzazione è dovuta alla presenza del centro storico di Noto che però, pur preservando il suo centro barocco, tende ad espandersi disordinatamente.

Il tavolato di *Rosolini*, parte di quello ibleo, sorge sulla sponda destra del fiume Tellaro ed è caratterizzato da terreni incolti per il pascolo; attualmente, da un punto di vista insediativo, è oggetto di fenomeni di dispersione poiché l'abitato di Rosolini tende ad espandersi lungo i principali tracciati stradali.

Infine questo territorio è caratterizzato dalla valle del Tellaro, la costa di Eoro ed i pantani di Vendicari.

Il sistema *centri agricoli meridionali* interessa la zona parte più a sud del territorio provinciale ed è caratterizzato dalla presenza dei due centri di Pachino e Portopalo; qui prevalgono attività agricole, con la massiccia presenza di colture orticole protette in serra, ed a queste è legata la forte dispersione insediativa in area extraurbana. Si evidenzia inoltre un'edificazione imponente di abitazioni ad uso stagionale che ha interessato molti tratti della costa negli anni recenti, nonostante il vincolo di inedificabilità.

3. L'attuale pianificazione della Provincia di Siracusa

Lo Schema di Massima del PTP definisce tre principali *linee strategiche*:

1. Tutela e riqualificazione integrate dell'offerta di risorse territoriali, potenziamento delle strutture per la loro fruizione e la valorizzazione
2. Riorganizzazione del sistema insediativo come leva per il rilancio competitivo del territorio
3. Efficienza dei sistemi di mobilità come condizione per l'integrazione dell'armatura urbana e produttiva e delle risorse ambientali e storico culturali

Queste linee vengono dettagliate in obiettivi e nelle conseguenti azioni da intraprendere per realizzarli; delle prime due linee si riporta una sintetica schematizzazione in Fig. 45 e Fig. 46 mentre la Tavola 1 allegata si riferisce allo Scenario strategico.

LINEE STRATEGICHE	OBIETTIVI	AZIONI
<p>Il sistema ambientale e delle risorse culturali</p> <p><i>Tutela e riqualificazione integrate dei nodi strategici dell'offerta di risorse territoriali, coniugate ad un potenziamento delle strutture per la fruizione e la valorizzazione</i></p>	<p><i>Promozione e valorizzazione delle grandi risorse turistiche</i></p>	<p>Promuovere la creazione di una filiera del turismo culturale</p> <p>Incrementare l'offerta di grandi attrezzature per la cultura e la divulgazione scientifica (Musei multimediali, Museo di Archimede, Acquario)</p> <p>Mettere a sistema i beni culturali di interesse turistico attualmente non integrati nel circuito di fruizione</p> <p>Proporre azioni sui sistemi del trasporto su ferro con particolare riguardo alle connessioni aeroportuali</p>
	<p><i>Tutela e nuove occasioni di fruizione delle risorse ambientali: sistemi di connessione e reti ecologiche</i></p>	<p>Promuovere l'istituzione di un sistema integrato di tutela dei valori ambientali cerniera della Sicilia Sud-Orientale</p> <p>Identificare le invarianti territoriali come nuclei principali della rete ecologica provinciale (Pantalica, Cava Grande del Cassibile, Vendicari..)</p> <p>Suggerire elementi per la tutela, il recupero, la fruizione ed una corretta valorizzazione degli elementi naturali peculiari (pantani, incisioni fluviali)</p>
	<p><i>Riqualificazione del territorio costiero</i></p>	<p>Preservare il suolo da ulteriori edificazioni e da usi non compatibili con le vocazioni territoriali</p> <p>Proporre un'estensione delle zone protette nelle aree costiere che presentano una vocazione naturalistica</p> <p>Riorganizzare il sistema della mobilità lungo la costa mediante percorsi alternativi e creare un sistema di mobilità dolce per la fruizione turistica</p> <p>Consentire la ristrutturazione urbanistica con demolizione e ricostruzione incentivando la mitigazione degli impatti con premi di cubatura</p> <p>Prevedere la demolizione di volumi in aree di pregio con ricostruzione in altro sito attraverso meccanismi premiali di agevolazione</p> <p>Mantenere adeguati elementi di connessione tra l'ambito costiero e l'entroterra</p> <p>Individuare zone di fragilità ambientale e misure di mitigazione per ripristinare l'equilibrio tra l'insediamento e le aree naturali</p> <p>Prevedere misure per il recupero ambientale del mare, del litorale, dei torrenti e dei canali e per la rinaturazione degli alvei</p> <p>Promuovere nuove forme d'uso del patrimonio di residenze stagionali sottoutilizzate anche migliorandone l'accessibilità</p> <p>Nelle aree industriali costiere individuare azioni mirate alla salvaguardia ed al recupero delle zone di elevato pregio naturalistico ancora presenti</p>
	<p><i>Attribuzione di un nuovo ruolo alle aree interne: ambiente, paesaggio e agricoltura di qualità</i></p>	<p>Promuovere lo sviluppo di attività agricole e produttive di qualità e potenziare pratiche agricole multiobiettivo anche legate alla filiera turistica</p> <p>Incrementare la qualità dei prodotti legati alle peculiarità territoriali</p>

		<p>Incentivare i marchi esistenti e la costituzione di nuove filiere produttive</p> <p>Minimizzare gli impatti sull'ambiente e sul paesaggio definendo modalità di costruzione delle attrezzature a servizio dell'agricoltura</p> <p>Valorizzare le tradizioni locali di produzioni tipiche da destinare sia ai mercati tradizionali che a settori turistici di nicchia, al turismo scolastico (fattorie didattiche)</p> <p>Valorizzare il paesaggio agrario in relazione alla promozione di contesti ambientali di pregio legati a fatti storici, feste religiose e ambientazioni letterarie</p> <p>Utilizzare al meglio il comparto extra-alberghiero (agriturismi, bed & breakfast...)</p> <p>Innalzare il grado di accessibilità con la razionalizzazione del patrimonio infrastrutturale e il potenziamento del trasporto pubblico e mobilità dolce</p>
	<i>Razionalizzazione delle risorse energetiche</i>	<p>Dare priorità agli interventi di mini-eolico nelle aree industriali esistenti o in altre aree parzialmente compromesse da insediamenti produttivi</p> <p>Incentivare il solare termico e il fotovoltaico da installare prioritariamente in aree già insediate al di fuori delle aree agricole</p> <p>Promuovere la formazione di biomasse (forestazione e colture a fini energetici), creare impianti di combustione dei rifiuti organici (scarti di attività agricole o dell'industria del legno) in aree limitrofe alle discariche</p> <p>Adottare idonei criteri di compensazione ecologica per le attività di sfruttamento delle fonti tradizionali esistenti e in progetto</p> <p>Fornire elementi di interpretazione necessari a valutare la scelta in itinere per la localizzazione e realizzazione del proposto rigassificatore</p>
	<i>Mitigazione dei rischi naturali (sismico, idrogeologico) e miglioramento della gestione delle acque</i>	<p>Monitorare, proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici, terrestri e le zone umide</p> <p>Identificare gli squilibri nei cicli d'uso delle risorse idriche sotterranee dovuti all'approvvigionamento industriale e civile</p> <p>Proporre politiche ed interventi di tutela della risorsa acqua (razionalizzazione prelievi e minimizzazione degli sprechi)</p>
	<i>Riqualificazione e nuovi usi delle cave</i>	<p>Approfondire la conoscenza dell'assetto territoriale dei siti estrattivi e delle risorse minerarie</p> <p>Individuare i siti che presentano ancora elementi qualitativi e che meritano la proposta di nuovi programmi estrattivi</p> <p>Riqualificare siti estrattivi che devono essere dismessi attraverso una bonifica agricolo-forestale o una ricostruzione dei caratteri ambientali</p> <p>Individuare usi per le cave dismesse inclusi quelli a carattere storico-turistico, come "parchi di fruizione urbana"</p>

Fig. 45 - Prima linea strategica con relativi obiettivi e azioni (PTP Schema di Massima, 2009)

LINEE STRATEGICHE	OBIETTIVI	AZIONI
<p>L'armatura urbana e il sistema della produzione industriale</p> <p><i>La riorganizzazione del sistema insediativo come leva per il rilancio competitivo del territorio</i></p>	<p><i>Potenziamento e razionalizzazione del sistema dei servizi urbani di scala sovralocale</i></p>	<p><i>Sistema Lentinese</i></p>
		<p>Razionalizzare i servizi esistenti attraverso un riequilibrio funzionale</p>
		<p>Localizzare i servizi alla produzione agricola e rafforzare e/o decentrare le attività di supporto alla produzione industriale</p>
		<p><i>Sistema costiero settentrionale - Subsistema Megarese</i></p>
		<p>Localizzare le funzioni a servizio della produzione industriale e della logistica (Incubatore di impresa. Centro di logistica integrata)</p>
		<p>Individuare delle localizzazioni per nuove funzioni e servizi in relazione con gli interventi di miglioramento dell'accessibilità ferroviaria</p>
		<p><i>Sistema costiero settentrionale - Subsistema della conurbazione di Siracusa</i></p>
		<p>Prevedere funzioni per rafforzare la vocazione del capoluogo verso le attività direzionali, culturali, ricreative e della formazione (centro congressuale direzionale)</p>
		<p>Potenziare il sistema della mobilità puntando sul trasporto pubblico (nodi di scambio intermodale e direttrici del trasporto pubblico in direzione Priolo, Florida-Solarino e Cassibile)</p>
		<p>Operare un decentramento di funzioni sovralocali a vantaggio dei centri periferici</p>
		<p>Orientare la crescita degli insediamenti residenziali verso aggregazioni multifunzionali in prossimità dei nodi di accesso ai sistemi del trasporto pubblico.</p>
		<p><i>Sistema montano</i></p>
		<p>Calibrare la localizzazione dei servizi, intorno due o più polarità, per migliorare l'accessibilità dai diversi centri del sistema</p>
		<p>Migliorare il ruolo di servizio delle vocazioni specifiche attorno alle filiere dell'industria, della produzione agricola di elevata qualità e del sistema turistico</p>
<p><i>Sistema Avola – Noto</i></p>		
<p>Evitare duplicazioni in una strategia di decentramento funzionale che riguardi servizi sanitari, amministrativi, scuole superiori e altre attività formative.</p>		
<p>Migliorare le connessioni viarie tra i due centri anche potenziando la S.P.15.</p>		
<p>Localizzare i nuovi insediamenti residenziali e riqualificare quelli esistenti orientandoli rispetto alla centralità del trasporto pubblico</p>		
<p><i>Sistema dei centri agricoli meridionali</i></p>		
<p>Prevedere attrezzature per la trasformazione dei prodotti agricoli.</p>		
<p>Definire criteri e azioni per la riqualificazione paesaggistica delle aree periurbane e delle aree a serricoltura</p>		

	<i>Riduzione del consumo di suolo</i>	Contenere le nuove urbanizzazioni individuando spazi rurali di pregio e di elevata capacità produttiva da preservare
		Utilizzare i vuoti urbani e le aree dismesse da riqualificare al fine di saturare le porosità dei tessuti urbani attuali anche attraverso meccanismi perequativi
		Rafforzare ed ampliare la rete del trasporto pubblico potenziando le connessioni con i poli urbani secondari esistenti e di progetto
		Diversificare le funzionalità dei poli secondari in modo da garantire la dotazione di servizi di base
		Introdurre un principio generale che riduca le nuove urbanizzazioni e prevedere forme di compensazione ambientale
		Tutelare le aree agricole ad ovest del capoluogo in direzione di Floridia e Solarino prevedendo anche un parco fluviale lungo l'Anapo
		Tutelare le aree agricole residue di contrada Targia, comprese tra la zona industriale e il margine urbano settentrionale di Siracusa nella buffer zone Unesco anche promuovendo forme di pianificazione intercomunale
	<i>Risanamento dei siti industriali dismessi, innovazione e qualità territoriale a servizio della produzione industriale</i>	Mitigare le condizioni di conflitto d'uso lungo la fascia costiera che va da capo S. Croce a capo Santa Panagia contenendo i processi insediativi a fini industriali e ottimizzando l'uso delle aree già compromesse
		Prevedere interventi per i siti di estrazione di materiali lapidei riducendone l'impatto visivo
		Promuovere una strategia per la sostituzione delle attività tradizionali con produzioni ad alta tecnologia e con servizi ad alto valore aggiunto
		Individuare localizzazioni di attrezzature funzionali alla valorizzazione della conoscenza (centri di ricerca scientifici, incubatori di imprese)
		Predisporre luoghi della produzione con requisiti elevati di qualità insediativa e ambientale
	<i>Mitigazione del rischio industriale</i>	Realizzare all'interno e in prossimità dell'area degli insediamenti industriali una rete di percorsi naturalistici
		Formulare un quadro conoscitivo provinciale delle condizioni di rischio finalizzato alle analisi di compatibilità
		Minimizzare il rischio per gli elementi antropici ed ambientali attraverso la classificazione della loro compatibilità
	<i>Razionalizzazione del sistema della gestione dei rifiuti solidi urbani</i>	Coordinare le strategie di Piano con le attività di programmazione e pianificazione della Protezione Civile
Favorire il trattamento al livello locale dei rifiuti attraverso la riduzione a monte del volume dei rifiuti, la raccolta differenziata e il compostaggio		
		Favorire la promozione di accordi cooperativi tra i comuni per la localizzazione degli elementi del sistema di gestione dei rifiuti

Fig. 46 - Seconda linea strategica con relativi obiettivi e azioni (PTP Schema di Massima, 2009)

La terza linea strategica, chiaramente volta alla pianificazione dei trasporti, verrà meglio dettagliata nel seguito. Si osserva però che, coerentemente con gli indirizzi della pianificazione integrata, anche le prime due linee appena esposte, pur trattando di "elementi" territoriali, prevedono azioni sul sistema dei trasporti.

3.1. Le infrastrutture della mobilità e dei trasporti: situazione attuale

Per caratterizzare lo stato attuale del sistema multimodale dei trasporti nell'ambito del PTP è stato condotto uno studio sulla mobilità, da cui sono state identificate le peculiarità del contesto siracusano e sulla base di queste, in sinergia con le linee strategiche del piano, definiti gli obiettivi e le azioni.

In generale uno studio sulla mobilità ha lo scopo di stimare i "carichi" che interessano il sistema di trasporto dell'area di studio interessata, ovvero il numero di utenti che si serve del sistema di trasporto esistente.

Le fasi principali di uno studio di mobilità comprendono:

- individuazione dell'area di studio e sua suddivisione in zone;
- definizione dell'offerta del sistema di trasporto;
- stima della domanda di trasporto che interessa l'area di studio (matrici origine/destinazione);
- simulazione dell'interazione domanda/offerta mediante il calcolo dei flussi di traffico sulle diverse componenti del sistema;
- calcolo delle prestazioni e degli impatti del sistema di trasporto.

I risultati ottenuti al termine delle suddette fasi sono necessari per eseguire valutazioni sulle prestazioni e sugli impatti del sistema di trasporto esistente, per fare previsioni sull'effetto di modifiche sul sistema esistente o sul funzionamento di un nuovo sistema da progettare.

Nel seguito verranno ripercorse le fasi sopra elencate contestualizzandole al caso studio e riportando i dati utilizzati.

3.1.1. Zonizzazione

Per *area di studio* si intende quella porzione di territorio all'interno della quale si ritiene che gli effetti delle variazioni di traffico sulla rete dovute alle diverse perturbazioni (eventi, blocchi, incidenti, ecc.) esauriscano la loro influenza.

Nell'ambito del PTP (come nella presente ricerca) l'area di studio è costituita dal territorio individuato dal limite provinciale di Siracusa.

Uno spostamento che interessa l'area di studio può avere in generale un qualunque punto di origine e di destinazione; affinché il fenomeno possa adeguatamente trattato, è necessario restringere ad un numero finito di punti le origini e le destinazioni degli spostamenti. Ciò si ottiene mediante la zonizzazione, ossia la suddivisione dell'area di studio in un numero finito di zone

di traffico; inoltre, all'interno di queste, tutti gli estremi degli spostamenti vengono concentrati in un unico punto rappresentativo detto *centroide*, già definito nel capitolo precedente al paragrafo 7.5.

La suddivisione in zone deve essere condotta in modo che le approssimazioni introdotte siano accettabili. È chiaro che la scelta della dimensione delle zone dipende dal livello di dettaglio che si intende raggiungere con riferimento all'area in esame. Inoltre è frequente scegliere le zone in modo che queste siano ottenute attraverso l'unione di aree territoriali per le quali siano disponibili dati in forma aggregata, quindi zone censuarie definite dall'ISTAT o interi comuni.

Ai fini del presente studio, come nel PTP e compatibilmente con la disponibilità di informazioni sulla domanda di trasporto, si è adottato un livello di dettaglio comunale nella delimitazione delle zone di traffico; pertanto la provincia di Siracusa è stata suddivisa in 21 zone, rappresentative dei comuni che si trovano al suo interno (v. Fig. 47).

Con la zonizzazione così definita sono stati considerati i dati socio-economici relativi al numero di residenti ed addetti delle 21 zone, con riferimento al censimento ISTAT dell'anno 2001 (v. Tabella 11).



Fig. 47 - Zonizzazione della provincia di Siracusa (PTP Schema di Massima, 2009)

Tabella 11 – Numero di residenti ed addetti della provincia di Siracusa nel 2001

CODICE ISTAT	COMUNE	RESIDENTI	ADDETTI
19089001	AUGUSTA	34.063	10.872
19089002	AVOLA	31.731	4.727
19089003	BUCCHERI	2.422	377
19089004	BUSCEMI	1.198	242
19089005	CANICATTINI BAGNI	7.599	970
19089006	CARLENTINI	17.677	3.164
19089007	CASSARO	907	147
19089008	FERLA	2.796	410
19089009	FLORIDIA	20.767	3.335
19089010	FRANCOFONTE	13.853	1.140
19089011	LENTINI	25.504	6.136
19089012	MELILLI	12.312	3.345
19089013	NOTO	21.608	5.066
19089014	PACHINO	21.732	2.976
19089015	PALAZZOLO ACREIDE	9.169	3.033
19089016	ROSOLINI	21.095	3.272
19089017	SIRACUSA	125.673	26.397
19089018	SOLARINO	7.437	806
19089019	SORTINO	9.137	1.223
19089020	PORTOPALO DI CAPO PASSERO	3.465	861
19089021	PRIOLO GARGALLO	11.660	6.073

3.1.2. Offerta di trasporto

Per quanto attiene all'offerta di trasporto, questa viene generalmente rappresentata attraverso il cosiddetto *grafo di rete*, ovvero l'insieme di archi e nodi che rappresentano rispettivamente le infrastrutture stradali e le intersezioni tra esse.

Ad ogni elemento (arco o nodo) viene poi attribuita una caratteristica quantitativa ben precisa (es. tempo di percorrenza, costi, tempi di attesa, etc.), che fornisce informazioni sulle prestazioni dell'elemento della rete e che influenzano le condizioni della rete stessa.

Nello specifico, per reti non congestionate, cioè quando il flusso di veicoli presente sulla rete è sensibilmente inferiore alla capacità della rete stessa, la caratteristica associata agli archi è costante e viene definita *costo dell'arco*; se invece questa dipende dal numero di utenti presenti sull'arco si parla di *funzione di costo* e si verifica nel caso di reti congestionate, ovvero quando il flusso è prossimo alla capacità.

Nel caso più generale la funzione di costo rappresenta il tempo necessario per percorrere un arco in funzione del numero di utenti presenti e della capacità dell'arco. Questa può esprimersi mediante la relazione:

$$t = t_0 \left[1 + a \left(\frac{q}{q_{\max} c} \right)^b \right]$$

essendo:

- $t_0=L/V_0$ il tempo di percorrenza a vuoto, dove L è la lunghezza dell'arco e V_0 la velocità a vuoto (cioè di un veicolo isolato);
- q il volume di traffico,
- q_{\max} la capacità della strada;
- a e b parametri di calibrazione della funzione.

L'offerta di trasporto della provincia di Siracusa è riportata in Fig. 49 e comprende le infrastrutture stradali, adoperate sia per il trasporto privato che pubblico su gomma, e quelle ferroviarie meglio descritte appresso.

Inizialmente è stata esaminata l'intera viabilità a servizio dell'area di studio e poi si è operata una selezione degli elementi considerati sino ad ottenere una rete di base che generalmente non comprende le strade ritenute non rilevanti per il livello di risoluzione con cui si intende condurre lo studio. Per la provincia di Siracusa sono state incluse le viabilità autostradale, statale e provinciale, tralasciando le strade di tipo locale.

Inoltre nel modello è stata introdotta la parte di rete ferroviaria RFI, esercita da Trenitalia, ricadente in area provinciale, con le relative stazioni; questa comprende le tratte ferroviarie Lentini-Siracusa e Siracusa-Rosolini, appartenenti rispettivamente alle linee Messina-Siracusa e Siracusa-Canicattì.

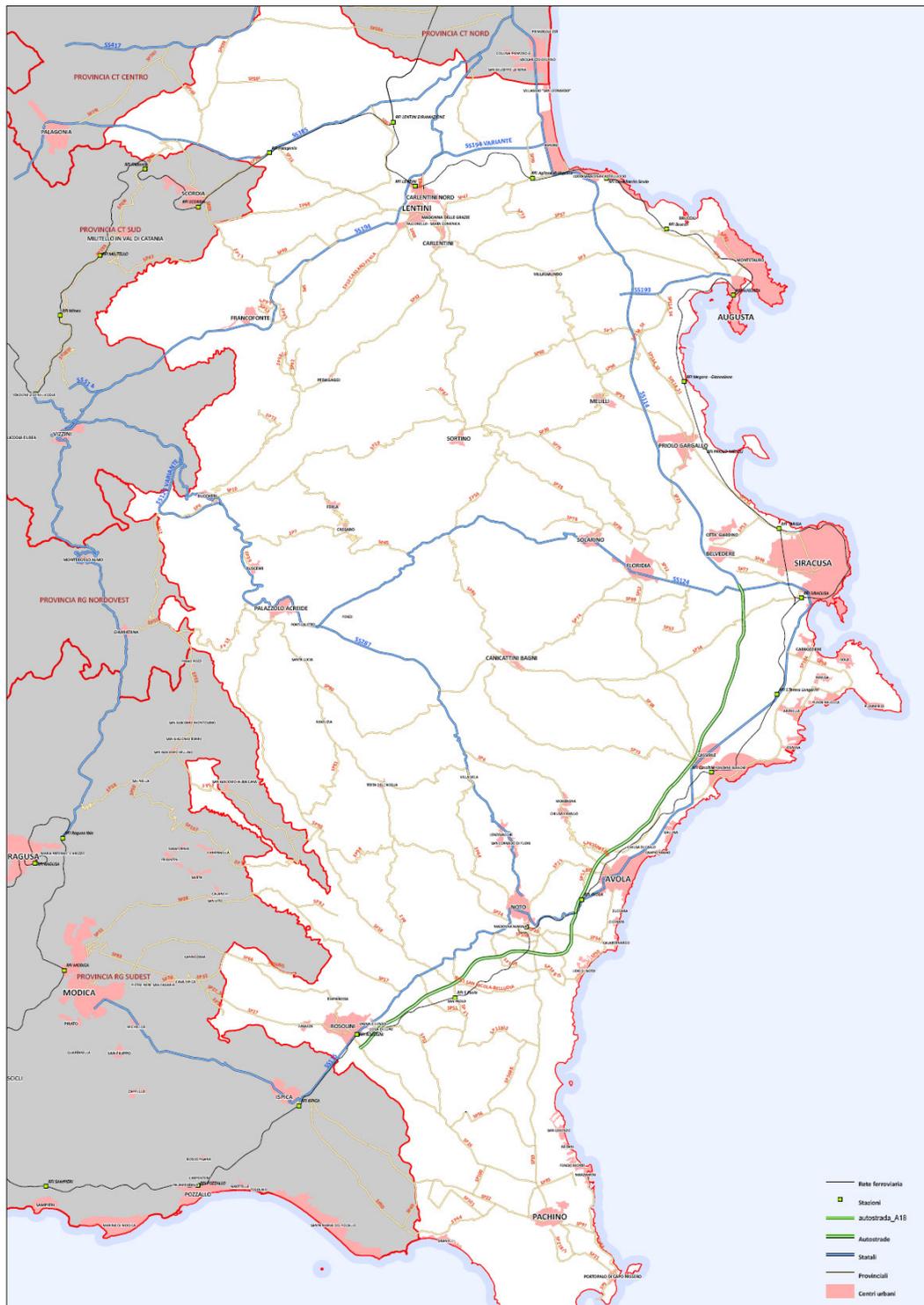


Fig. 48 - Offerta di trasporto privato e pubblico su ferro nella provincia di Siracusa (PTP Schema di Massima, 2009)

3.1.3. Domanda di trasporto

L'offerta di trasporto deve essere relazionata con la domanda; questa viene generalmente descritta attraverso una o più matrici origine/destinazione che rappresentano il numero di spostamenti che interessano l'area di studio.

Il numero di colonne e di righe della matrice O/D è generalmente pari a quello delle zone in cui è stata divisa l'area di studio e ogni cella (x,y) della matrice rappresenta il numero di spostamenti che avvengono dalla zona x alla zona y.

Pertanto la somma degli elementi presenti nelle righe/colonne della matrice indica il numero totale di spostamenti che avvengono sulla viabilità considerata aventi come origine/destinazione la zona corrispondente alla riga/colonna.

In una matrice O/D possono essere identificati, in relazione al tipo di zona di origine e destinazione, spostamenti interni, di scambio e di attraversamento (v. Fig. 49).

Gli spostamenti interni vengono così definiti in quanto l'origine e la destinazione sono zone interne all'area di studio; in quelli di scambio invece l'origine e la destinazione sono una all'interno e l'altra all'esterno dell'area di studio; infine se l'origine e la destinazione sono entrambe esterne ma per collegarle è necessario passare per l'area di studio si parla di spostamenti di attraversamento.

All'interno delle analisi di mobilità, per descrivere con maggior dettaglio la domanda di trasporto, si possono utilizzare più matrici O/D associate a differenti tipologie di modi di trasporto, in particolare si distingue quello con mezzo privato oppure pubblico; quest'ultimo a sua volta viene particolareggiato per distinguere il trasporto su gomma da quello su ferro.

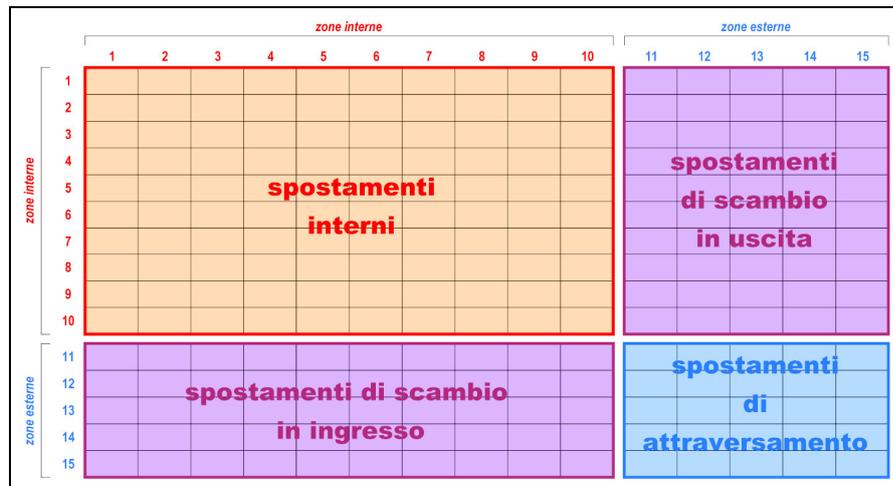


Fig. 49 - Schema di matrice origine/destinazione

Le matrici O/D vengono implementate mediante procedure informatiche basate su dati ISTAT, rilievi del traffico e interviste telefoniche; tuttavia questa procedura presenta il limite di non riuscire a rappresentare gli spostamenti che avvengono all'interno delle singole zone (spostamenti intrazonali) e che corrispondono agli elementi diagonali della matrice. Tale difetto può essere irrilevante nel caso di piccole zone ma diventa penalizzante nel caso di valutazioni puntuali su elementi che si trovano nelle vicinanze di zone molto ampie.

Nel caso in questione, le matrici di riferimento sono ottenute sulla base dei dati ISTAT sul pendolarismo ultimi disponibili (2001); questi vengono rilevati nell'ambito di un'indagine svolta contestualmente al censimento e che registra gli spostamenti sistematici della popolazione, cioè quelli caratterizzati da una certa regolarità, e che vengono compiuti per motivi di studio o di lavoro. Il periodo di riferimento è costituito dall'intervallo temporale dalle 6.30 alle 9.00 del mattino. Il livello di dettaglio del dato ISTAT è coincidente a quello utilizzato e quindi si è proceduto alla costruzione di due matrici di domanda, una relativa al trasporto individuale privato, l'altra al trasporto pubblico.

Generalmente la domanda di mobilità viene rappresentata graficamente utilizzando le cosiddette *linee di desiderio*; queste congiungono mediante un tratto retto le zone di origine e quelle di destinazione, ed il loro spessore è proporzionale all'entità della domanda di trasporto. Si riportano nel seguito le

graficizzazioni dei flussi di domanda O/D sulla mappa della provincia di Siracusa che rappresentano, a prescindere dal percorso, il numero di utenti che “desiderano” spostarsi tra ciascuna coppia di zone origine/destinazione, con riferimento al trasporto privato (Fig. 50) e pubblico (Fig. 51).

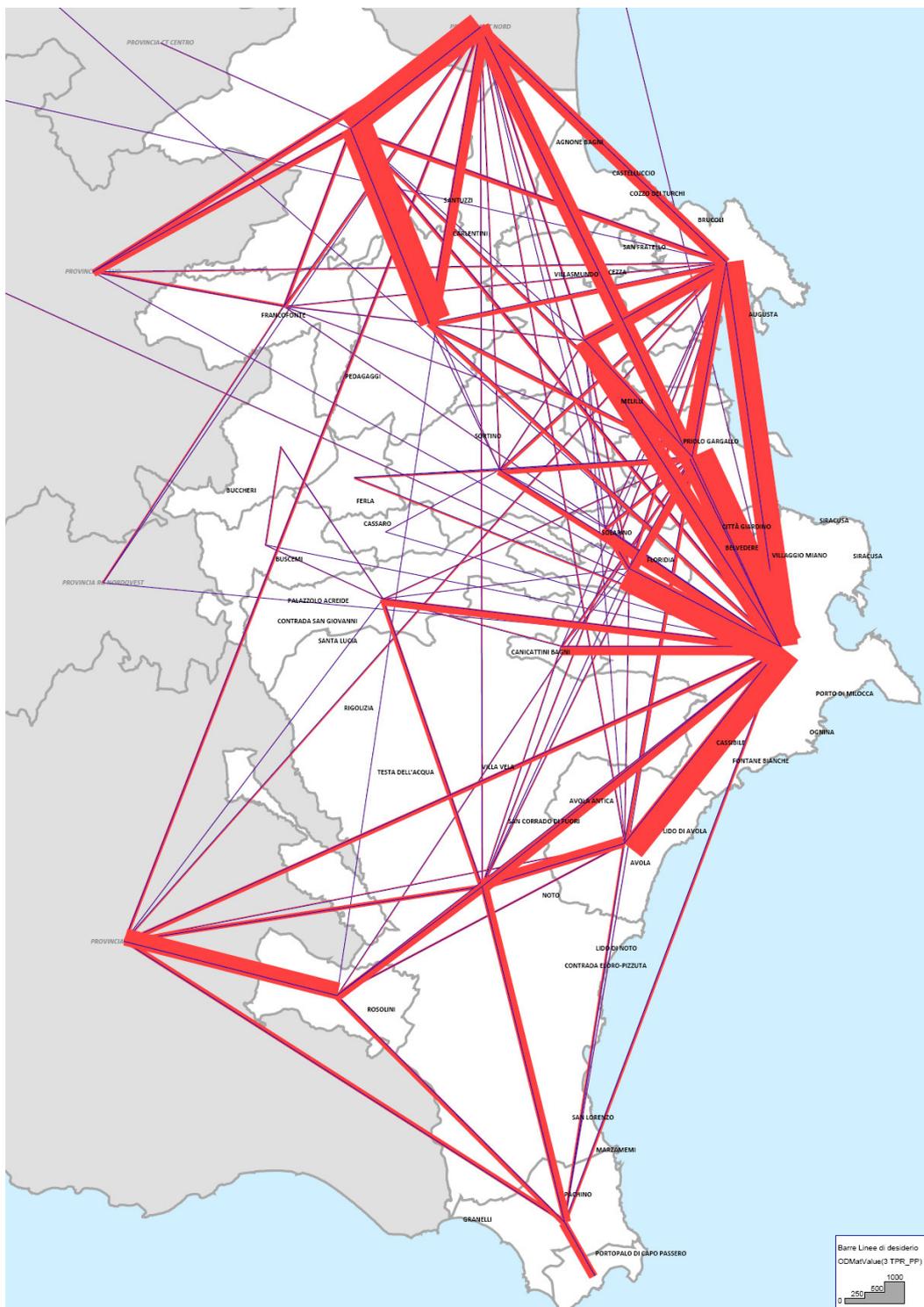


Fig. 50 - Linee di desiderio relative al trasporto privato (PTP Schema di Massima, 2009)

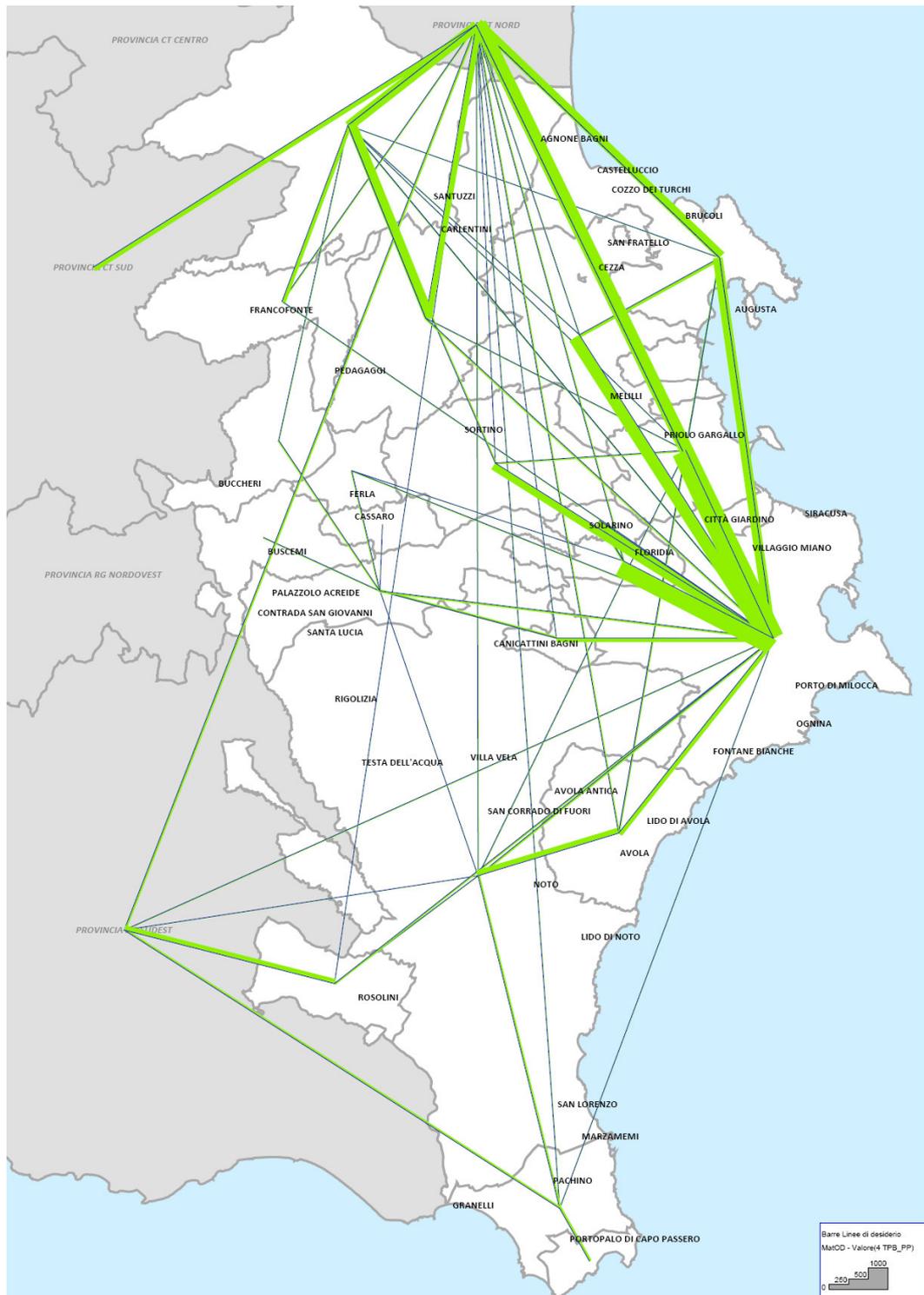


Fig. 51 - Linee di desiderio relative al trasporto pubblico (PTP Schema di Massima, 2009)

3.1.4. Interazione domanda/offerta di trasporto

Per simulare l'interazione tra la domanda e l'offerta di trasporto si utilizzano i modelli matematici cosiddetti di *assegnazione*; questi, sulla base dei dati di input quali le caratteristiche della domanda di trasporto (matrici O/D) e dell'offerta (grafo della rete e relative funzioni di costo), "assegnano" e calcolano i flussi di veicoli sugli archi della rete di trasporto.

Pertanto note la domanda e l'offerta di trasporto privato e pubblico, si "carica" la rete e si effettua il *processo di assegnazione* per il calcolo dei flussi di traffico; questo consiste nell'allocatione dei flussi di domanda descritti dalla matrice O/D ai possibili itinerari di collegamento per ciascuna coppia di zone, in base alla "convenienza" del singolo itinerario, rappresentata dalla funzione di costo generalizzato propria di ogni arco della rete.

Nell'ipotesi di rete congestionata (ossia per la quale i costi di arco dipendono dai flussi sull'arco) e di domanda rigida (e cioè il numero totale di spostamenti non dipende dai costi di percorso) lo schema di calcolo di un modello di assegnazione è quello mostrato nel diagramma a blocchi riportato in Fig. 52.

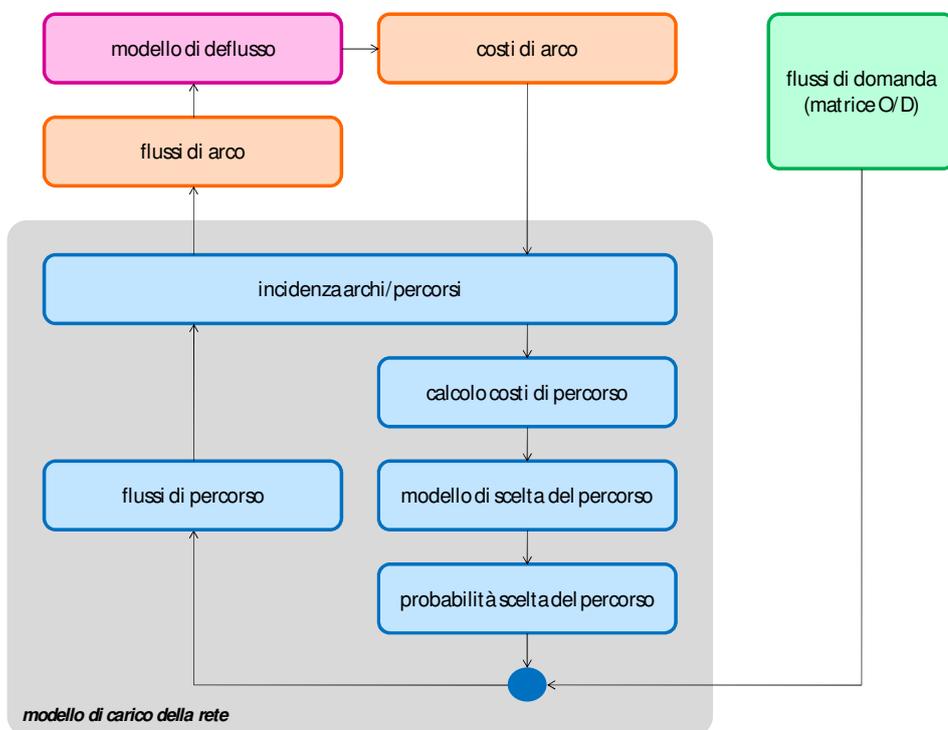


Fig. 52 - Schema logico del modello di assegnazione

Come risulta evidente osservando tale schema, nel caso di reti congestionate è necessario risolvere un problema di *equilibrio*: noto il flusso di domanda O/D , cioè il numero di spostamenti tra la zona di origine O e la zona di destinazione D , in generale esiste un insieme di possibili percorsi che l'utente può scegliere. La probabilità di scelta di ciascun percorso, adottando un approccio stocastico, dipende dal costo che l'utente sopporta nell'utilizzare il percorso stesso; inoltre il costo di un percorso è dato dalla somma dei costi degli archi che costituiscono il percorso stesso.

Se i costi di arco dipendono dal flusso sugli archi, e quindi nel caso di reti congestionate, la risoluzione del problema di equilibrio della rete richiede l'uso di algoritmi iterativi poiché si viene a creare una dipendenza circolare tra costi e flussi. Tali algoritmi sono in grado di determinare come soluzione finale quel valore del vettore dei flussi cui corrisponde un vettore dei costi di arco che determina gli stessi flussi di arco.

Per la risoluzione del problema in esame è stato utilizzato un modello di assegnazione all'equilibrio deterministico dell'utente (DUE); tale procedura segue il *principio di Wardrop*, noto anche come principio di "ottimo per l'utente", secondo il quale: "ogni singolo utente sceglie il suo itinerario in modo che la durata dello spostamento su tutti gli itinerari alternativi risulti uguale, ed ogni altro itinerario percorso aumenterebbe il tempo di percorrenza individuale". Pertanto se un veicolo modificasse il proprio itinerario incorrerebbe in un incremento del suo tempo di spostamento.

La condizione di equilibrio viene determinata attraverso un'iterazione multi-stadio; come soluzione iniziale si utilizza un'assegnazione incrementale. Inizialmente l'algoritmo mette in equilibrio a due a due i percorsi di una relazione tramite il trasferimento di veicoli da un percorso all'altro; queste fasi intermedie di iterazione sono eseguite per tutte le relazioni fino a che esse non sono in equilibrio. Successivamente l'algoritmo controlla se vi sono nuovi percorsi nella rete corrente con minori tempi di spostamento e in tal caso riesegue la procedura di assegnazione all'equilibrio.

Nel caso in esame la procedura di assegnazione fin qui descritta è stata ottenuta mediante elaborazioni con il software PTV Visum, utilizzando il *costo generalizzato di trasporto* per le diverse coppie OD nell'ora di punta.

La procedura di assegnazione utilizzando questi tipi di algoritmi produce come output una serie di caratteristiche di prestazione del sistema di trasporto tra cui: i volumi di traffico, le matrici delle impedenze, il grado di saturazione di ogni arco della rete, etc.

La Fig. 53 rappresenta, con uno spessore proporzionale al flusso, i volumi di traffico privato giornaliero (veicoli/giorno) sugli archi derivanti dall'assegnazione della domanda di trasporto stimata per il giorno feriale medio.

Le impedenze, e nello specifico di tempi di spostamento a rete carica, risultanti dalla procedura saranno utilizzati nelle successive analisi di accessibilità e centralità.

Un altro importante indicatore per la valutazione dell'offerta di trasporto in relazione alla domanda è il tempo di spostamento impiegato dagli utenti per raggiungere la propria destinazione. Tale indicatore può essere utilmente rappresentato, con riferimento ad uno o più punti della rete complessiva, mediante la cosiddetta "mappa delle isocrone"; queste infatti costituiscono una rappresentazione grafica, mediante una scala cromatica che rappresenta intervalli di 10 minuti, dei tempi di percorrenza da tutti i punti della rete viaria verso un nodo in particolare.

Si ricorda che, nel Capitolo 3, tra gli altri indicatori si è parlato dell'indice isocrono (*cumulative opportunity measure*) che valuta l'accessibilità in funzione delle opportunità disponibili entro certi limiti di costo. Intendendo tale costo in termini di tempo, le mappe delle isocrone costituiscono una visualizzazione di questo tipo di accessibilità.

Nel caso del PTP queste sono state prodotte, relativamente al trasporto privato, per i nodi rappresentati dai Comuni di Augusta, Siracusa, Palazzolo Acreide, Sortino, Lentini, Rosolini, Noto ed Avola e qui si riporta in Fig. 54 l'isocrona relativa al capoluogo.

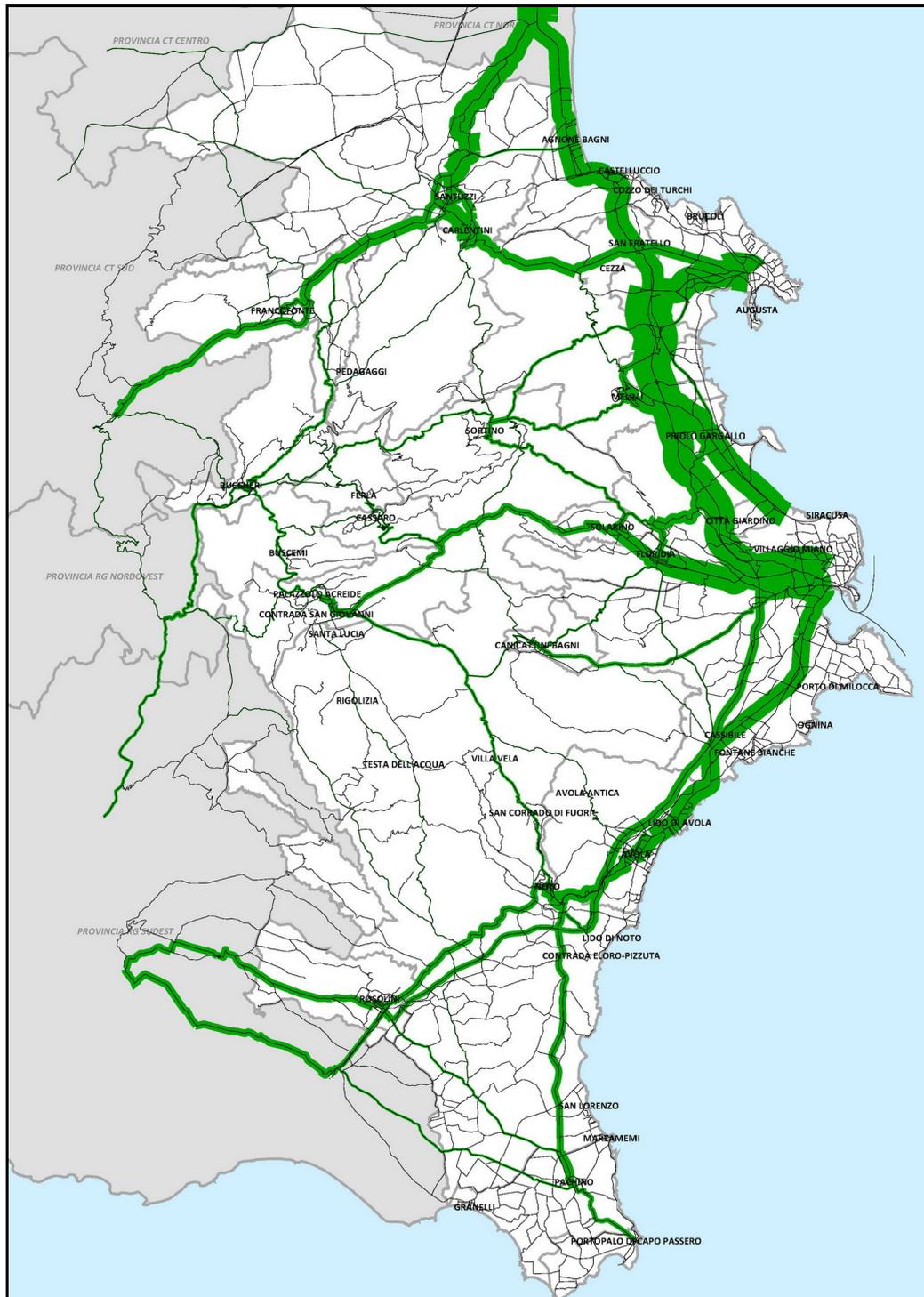


Fig. 53 - Volumi di traffico privato nella provincia di Siracusa (PTP Schema di Massima, 2009)

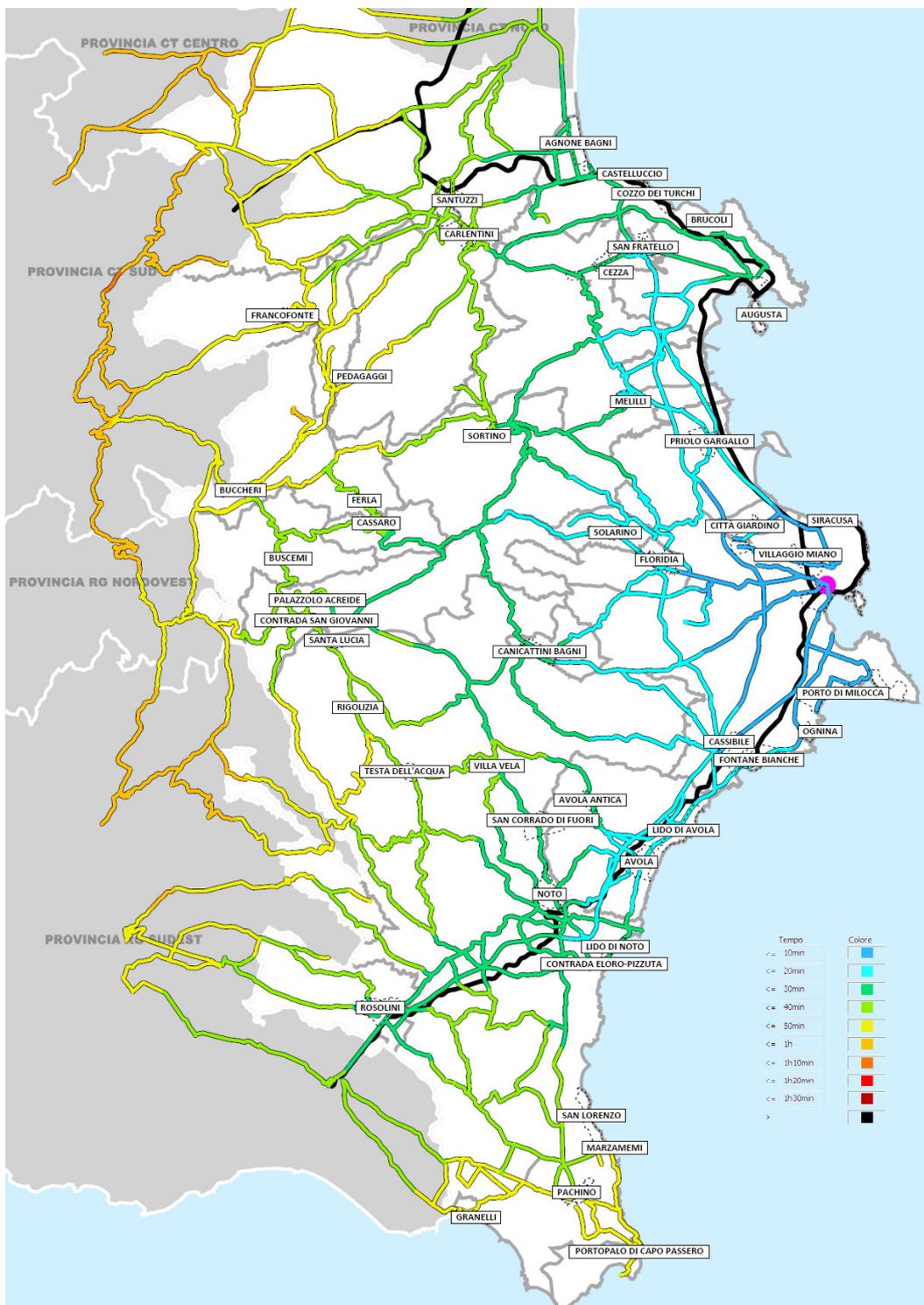


Fig. 54 - Isochrone per il comune di Siracusa (PTP Schema di Massima, 2009)

3.2. Analisi della situazione attuale

Dallo studio di mobilità, con particolare riferimento alle linee di desiderio ed ai volumi di traffico (Fig. 50 - Fig. 51 - Fig. 53), emerge che allo stato attuale:

- la grande maggioranza degli spostamenti avviene utilizzando il mezzo privato piuttosto che quello pubblico;
- la domanda di trasporto si concentra principalmente lungo quattro direttrici: una longitudinale, lungo tutta la costa siracusana e da/per Catania, e tre trasversali, da Augusta-Lentini/Carlentini-Francofonte al Calatino, da Siracusa verso Palazzolo Acreide, da Noto-Rosolini verso la zona sud della provincia di Ragusa;
- i flussi di traffico più consistenti si verificano da e per il capoluogo, in corrispondenza delle grandi aree industriali di Augusta, Priolo e Melilli, e verso la zona sud della Provincia di Catania;
- la domanda di trasporto da/per i comuni di Lentini e Carlentini è principalmente diretta verso il Calatino e la città di Catania, ovvero verso zone esterne alla provincia;
- la provincia di Ragusa interagisce soprattutto nella sua parte sud con Rosolini.

3.3. Obiettivi ed azioni

Come ormai ben noto, nello sviluppo del territorio il sistema della viabilità riveste un ruolo fondamentale; inoltre per il miglioramento dello svolgimento di funzioni urbane e territoriali complesse è necessario prevedere politiche ed interventi relative alla dotazione infrastrutturale.

Le strade provinciali siracusane sono numerose ma il loro insieme risulta poco coordinato ed integrato con il sistema territoriale; pertanto si ritiene necessario riorganizzarlo al fine di produrre le condizioni adeguate per attivare uno sviluppo durevole e perseguire obiettivi di competitività territoriale.

Chiaramente il soddisfacimento della domanda di trasporto non può prescindere dall'integrarsi con le esigenze di compensazione e mitigazione degli impatti.

Per perseguire gli obiettivi di sostenibilità, un importante ruolo è conferito all'efficienza nel settore del trasporto pubblico ed in particolare di quello ferroviario. Attualmente lo squilibrio fra il trasporto pubblico su gomma e quello su ferro è determinato anche dall'inadeguatezza della rete e dei servizi offerti dal

trasporto ferroviario; per contenere il tasso di crescita della domanda di trasporto su gomma è necessario pensare al potenziamento dei collegamenti sulle due uniche direttrici del trasporto ferroviario (Catania-Siracusa e Siracusa- Ragusa), sia in termini di esercizio che di dotazione infrastrutturale.

A seguito dello studio di mobilità condotto e fin qui descritto, affinché l'obiettivo di riorganizzazione sostenibile del sistema multimodale dei trasporti possa essere conseguito, il PTP declina le azioni riportate in Fig. 55.

LINEE STRATEGICHE	OBIETTIVI	AZIONI
<p>Le infrastrutture della mobilità e dei trasporti</p> <p><i>L'efficienza dei sistemi di mobilità come condizione indispensabile per l'integrazione delle componenti dell'armatura urbana e produttiva e delle risorse ambientali e storico culturali</i></p>	<p><i>Riorganizzazione del sistema multimodale dei trasporti</i></p>	<p>Riorganizzare il patrimonio viario secondo criteri di razionalizzazione funzionale</p> <p>Raggiungere maggiori standard di sicurezza e migliorare la qualità delle infrastrutture viarie esistenti</p> <p>Fornire indicazioni per limitare l'impatto di nuove infrastrutture e per ottimizzare le connessioni dei sistemi territoriali attraversati</p> <p>Migliorare l'accessibilità al territorio interno e ai sistemi produttivi locali</p> <p>Realizzare nuovi percorsi di accesso alle aree costiere</p> <p>Costituire una rete di percorsi per la mobilità lenta che consenta di accedere ad aree a valenza naturalistico-paesaggistica e turistico-ricettiva</p> <p>Individuare, per il trasporto su ferro, un sistema di infrastrutture e di usi del suolo che utilizzi collegamenti frequenti e veloci con poche fermate</p> <p>Rendere più efficiente il sistema del trasporto delle merci con l'individuazione di itinerari caratterizzati per il transito delle merci</p> <p>Promuovere l'intermodalità ed il trasferimento modale di merci dalla gomma al ferro e/o al mare</p> <p>Recuperare la linea dismessa Siracusa-Florida-Sortino-Palazzolo attraverso un progetto multifunzionale e un sistema di greenway per la mobilità lenta</p> <p>Migliorare l'accessibilità al capoluogo</p> <p>Intervenire sulla connessione autostrada - viabilità principale/ secondaria</p> <p>Migliorare l'accessibilità alla costa e al mare</p> <p>Potenziare il collegamento tra presidi ospedalieri</p> <p>Migliorare il collegamento tra le due direttrici di percorrenza Catania-Caltagirone-Gela e Catania-Ragusa</p> <p>Potenziare il collegamento con il ragusano e l'aeroporto di Comiso</p> <p>Creare un sistema di porti turistici</p> <p>Potenziare e ridefinire il ruolo del porto di Augusta, in un quadro di assetto complessivo del trasporto marittimo</p> <p>Aumentare la potenzialità della tratta ferroviaria Catania-Siracusa, intensificando l'esercizio per il trasporto passeggeri e merci</p> <p>Realizzare un inland terminal ferroviario nel porto di Augusta</p> <p>Potenziare il trasporto merci e i servizi di mobilità turistica sulla tratta ferroviaria Siracusa-Rosolini</p>

Fig. 55 - Terza linea strategica con relativi obiettivi e azioni (PTP Schema di Massima, 2009)

Si puntualizza che le elaborazioni fin qui riportate sono relative ai contenuti del PTP della Provincia di Siracusa; quanto segue invece è stato prodotto nell'ambito della presente ricerca.

Capitolo 5

ANALISI DELLA PROVINCIA DI SIRACUSA

1. Premessa

L'obiettivo della ricerca è, come ribadito più volte, quello di analizzare l'interazione trasporti-territorio ai fini della pianificazione integrata, con particolare attenzione al ruolo che in essa riveste l'accessibilità.

A tal fine nel presente Capitolo verrà condotta l'analisi della provincia di Siracusa in merito alla valutazione dell'accessibilità e delle centralità.

Nello specifico, per quanto attiene all'accessibilità questa sarà valutata adoperando tre diverse misure: un indice ampiamente diffuso in letteratura, quello Place Rank formulato di recente ed ancora poco utilizzato e l'indice formulato nell'ambito di questa ricerca che prova a superare i limiti della formulazione originale.

Inoltre verrà condotta, pur con notevoli semplificazioni rispetto al suo impiego usuale, l'analisi delle centralità, utilizzando le misure di *degree*, *betweenness* e *closeness*.

Entrambe le analisi verranno condotte con riferimento esclusivo al trasporto privato e si riferiranno sia allo stato di fatto che a quello di progetto.

Inoltre si puntualizza che in questa fase di analisi sono stati considerati gli spostamenti interni alla provincia di Siracusa e quelli di scambio in ingresso e uscita con le province limitrofe, ma non quelli di attraversamento (cioè aventi contemporaneamente origine e destinazione in zone esterne all'area di studio).

Dall'esame delle mappe di accessibilità e centralità attuali sarà possibile individuare le principali criticità che potranno così confrontarsi con quelle emerse nel PTP e con le relative azioni, in modo da valutare l'effettiva utilità degli indici di accessibilità come strumento a supporto della pianificazione.

Ipotizzando poi di realizzare gli interventi nel settore dei trasporti, previsti dallo specifico documento⁷⁸ successivo allo Schema di massima del PTP, verranno realizzate le mappe di accessibilità e centralità relative allo scenario di progetto. Dall'esame di queste potrà emergere se tali misure sono idonee per valutare la congruità degli interventi condotti al fine del miglioramento dell'accessibilità delle zone della provincia in esame.

2. Analisi di accessibilità della provincia di Siracusa: stato di fatto

Utilizzando la zonizzazione, i dati e le elaborazioni del PTP descritti precedentemente si è provveduto al calcolo dell'accessibilità attuale di ogni zona della provincia di Siracusa, con riferimento al trasporto privato, utilizzando i tre diversi indicatori descritti nel Capitolo 3 e riportati nel seguito:

- gli indici di accessibilità attiva e passiva proposti da Cascetta Nuzzolo Coppola (2006) fondati sull'approccio "probabilistico-comportamentale", misure del tipo *location-based*, anche dette *potential accessibility measure* o *gravity-based measure*, la cui formulazione è:

$$Acc_attiva(s,o) = \sum_d Add(s,d)^{\alpha_1} \cdot \exp(\alpha_2 \cdot Costo_gen(o,d))$$

$$Acc_passiva(Res,d) = \sum_o Res(o)^{\beta_1} \cdot \exp[\beta_2 \cdot costo_gen(o,d)]$$

ponendo: $\alpha_1 = 0,35$ $\alpha_2 = -0,04$ coefficienti di accessibilità attiva
 $\beta_1 = 0,33$ $\beta_2 = -0,03$ coefficienti di accessibilità passiva

- l'indice Place Rank

$$R_{j,t} = \sum_{i=1}^I E_{ij} * P_{it-1}$$

$$P_{it-1} = [E_j * [R_{j,t-1} / E_i]]$$

dove:

$R_{j,t}$ è il Place Rank di j nell'iterazione t

I è il numero totale di zone i collegate alla zona j

E_{ij} è il numero di persone che si spostano dalla zona i per raggiungere un'attività nella zona j

⁷⁸ Analisi e progetto del sistema dei trasporti (Provincia Regionale di Siracusa, 2010).

P_{it-1} è il peso di ogni persona che si sposta da i nell'iterazione precedente

E_j è il numero di persone originario destinato a j , con
$$E_j = \sum_i E_{ij}$$

$R_{j,t-1}$ è il Place Rank di j nell'iterazione precedente

E_i è il numero di persone originario residenti in i , con
$$E_i = \sum_j E_{ij}$$

- il nuovo indice proposto in questo studio, ottenuto modificando il precedente, denominato Place&Time Rank

$R_{j,t} = \sum E_{ij} * P_{it-1} * P_k$ è il Place&Time Rank di j nell'iterazione t

con:

$P_{it-1} = E_j * R_{j,t-1} / E_i$ è il peso di ogni persona che si sposta da i nell'iterazione precedente

$P_k = T_i / T_j$ è il peso del collegamento dovuto al sistema di trasporto.

2.1. Potential accessibility measure

La

Tabella 12 contiene i risultati delle elaborazioni che hanno fornito i valori degli indici di accessibilità attiva e passiva delle varie zone della provincia di Siracusa, calcolati mediante un indice del tipo *location-based*, ovvero una *potential accessibility measure*, con le relazioni prima riportate di Cascetta Nuzzolo Coppola (2006), con riferimento al mezzo privato.

Tabella 12 – Valori degli indici di accessibilità attiva e passiva delle zone della provincia di Siracusa calcolata mediante un indice del tipo *location-based*

ZONA	Accessibilità Passiva	Accessibilità Attiva
AUGUSTA	184,72	92,57
AVOLA	239,87	123,15
BUCCHERI	222,62	105,37
BUSCEMI	235,99	114,15
CANICATTINI BAGNI	217,74	104,83
CARLENTINI	232,43	116,89
CASSARO	229,37	110,08
FERLA	222,14	104,67
FLORIDIA	240,28	121,96
FRANCOFONTE	224,71	108,07
LENTINI	232,74	118,06
MELILLI	212,51	106,23
NOTO	219,69	110,81
PACHINO	169,39	80,54
PALAZZOLO ACREIDE	210,22	101,54
ROSOLINI	201,50	99,53
SIRACUSA	219,40	114,69
SOLARINO	255,59	130,81
SORTINO	226,60	110,51
PORTOPALO DI CAPO PASSERO	135,74	61,66
PRIOLO GARGALLO	236,95	123,11

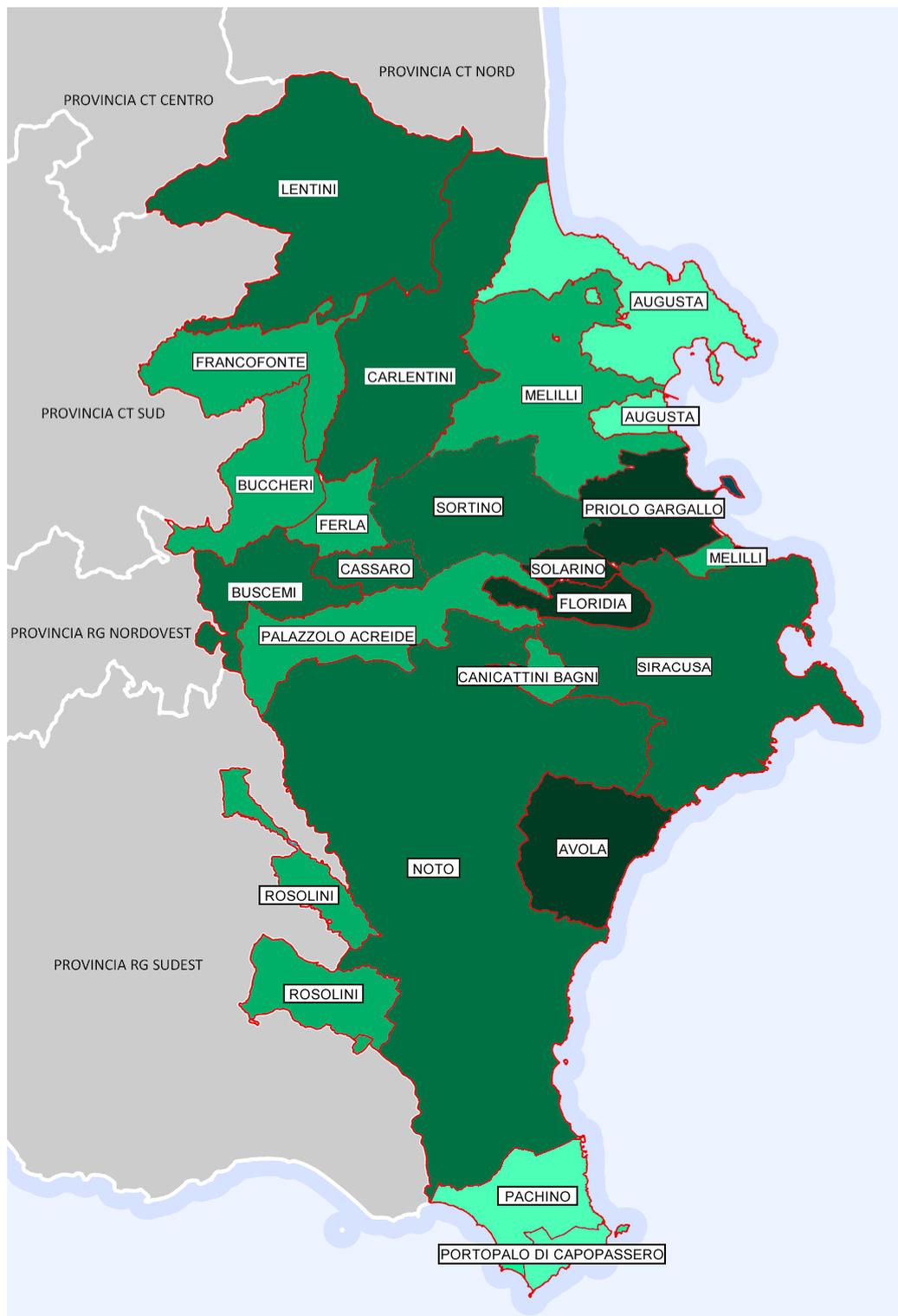


Fig. 56 - Mappa di accessibilità attiva calcolata mediante un indice del tipo *location-based*

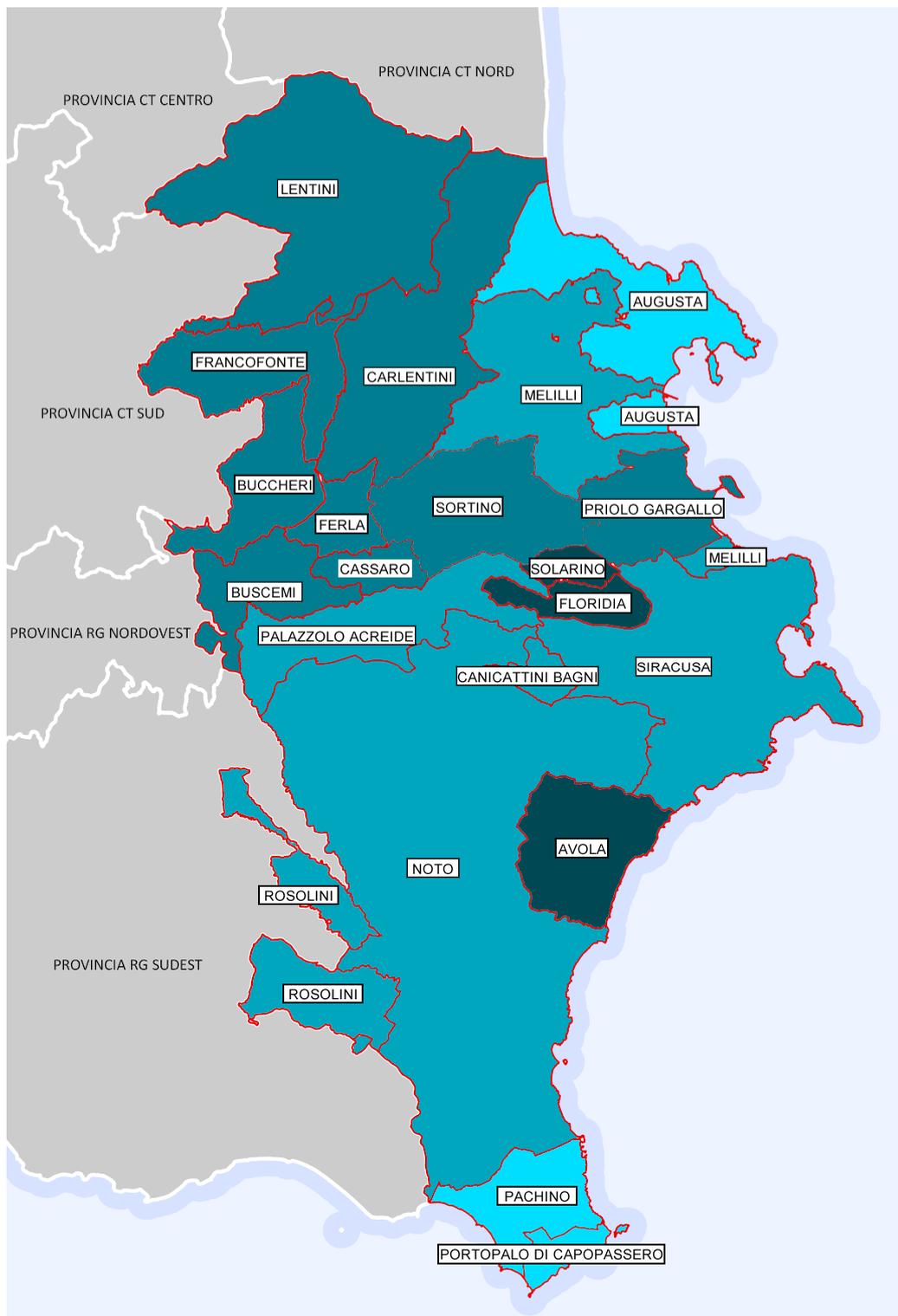


Fig. 57 - Mappa di accessibilità passiva calcolata mediante un indice del tipo *location-based*

2.2. Place Rank

Nel seguito si riportano i valori dell'indice di accessibilità calcolato mediante il metodo del Place Rank per tutte le zone della provincia di Siracusa e la relativa mappa.

Tabella 13 – Valori degli indici di accessibilità delle zone della provincia di Siracusa calcolata secondo il metodo Place Rank

Zona	Accessibilità Place Rank
AUGUSTA	3539
AVOLA	262
BUCCHERI	29
BUSCEMI	16
CANICATTINI BAGNI	97
CARLENTINI	414
CASSARO	17
FERLA	13
FLORIDIA	476
FRANCOFONTE	94
LENTINI	595
MELILLI	2341
NOTO	394
PACHINO	188
PALAZZOLO ACREIDE	147
ROSOLINI	89
SIRACUSA	5817
SOLARINO	109
SORTINO	95
PORTOPALO DI CAPO PASSERO	75
PRIOLO GARGALLO	5463

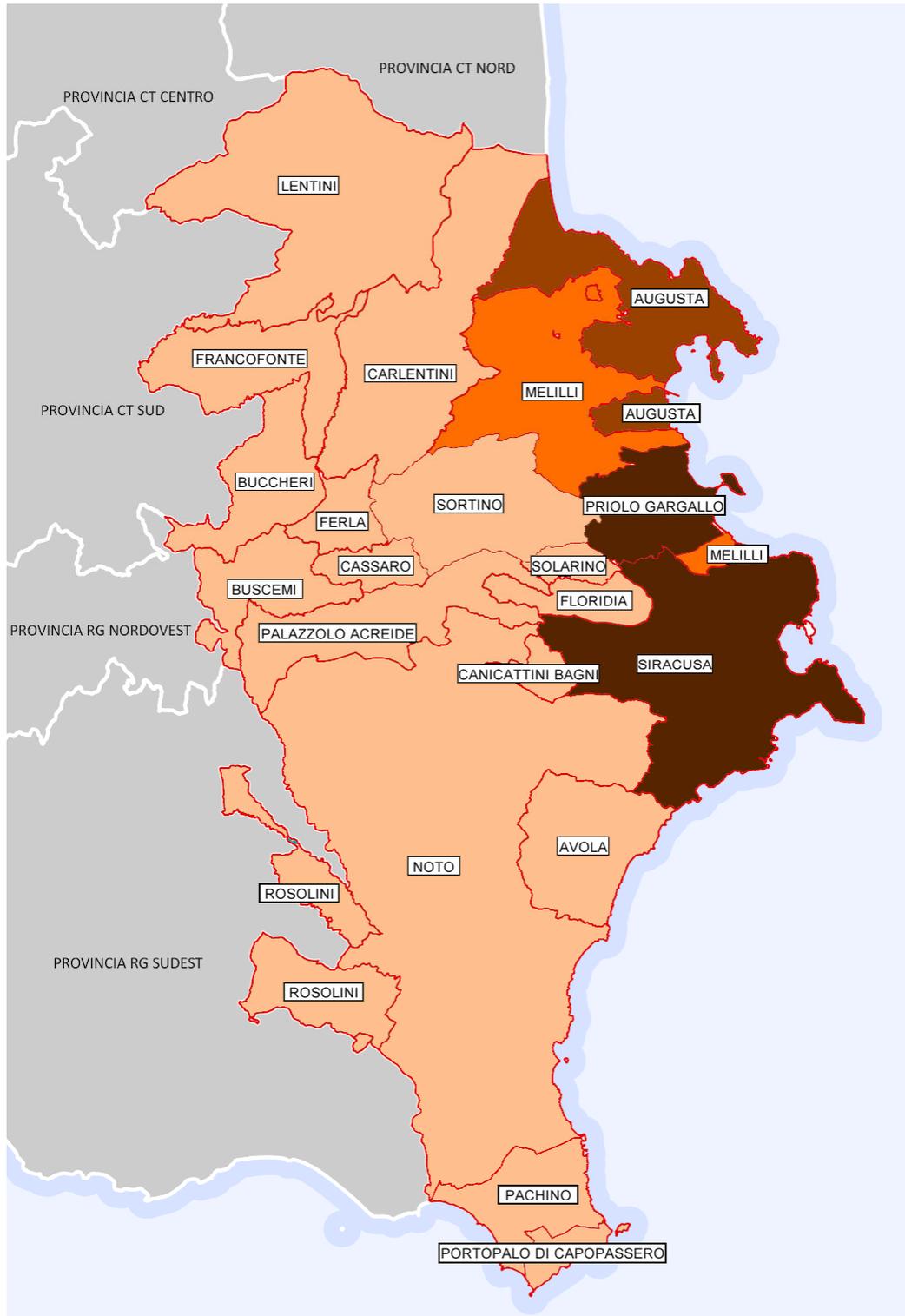


Fig. 58 - Mappa di accessibilità Place Rank

2.3. Place&Time Rank

Si è infine condotta l'analisi di accessibilità della provincia di Siracusa utilizzando il nuovo indice proposto, il Place&Time Rank che, rispetto alla versione originale, tiene conto del costo generalizzato di trasporto tra le diverse zone.

I risultati ottenuti con questo nuovo metodo vengono riportati nella tabella e nell'immagine seguenti.

Tabella 14 – Valori degli indici di accessibilità delle zone della provincia di Siracusa calcolata secondo il metodo Place&Time Rank

Zona	Accessibilità Place&Time Rank
AUGUSTA	3898
AVOLA	248
BUCCHERI	22
BUSCEMI	10
CANICATTINI BAGNI	86
CARLENTINI	530
CASSARO	16
FERLA	12
FLORIDIA	400
FRANCOFONTE	119
LENTINI	771
MELILLI	2343
NOTO	427
PACHINO	320
PALAZZOLO ACREIDE	145
ROSOLINI	111
SIRACUSA	5515
SOLARINO	81
SORTINO	89
PORTOPALO DI CAPO PASSERO	159
PRIOLO GARGALLO	4969

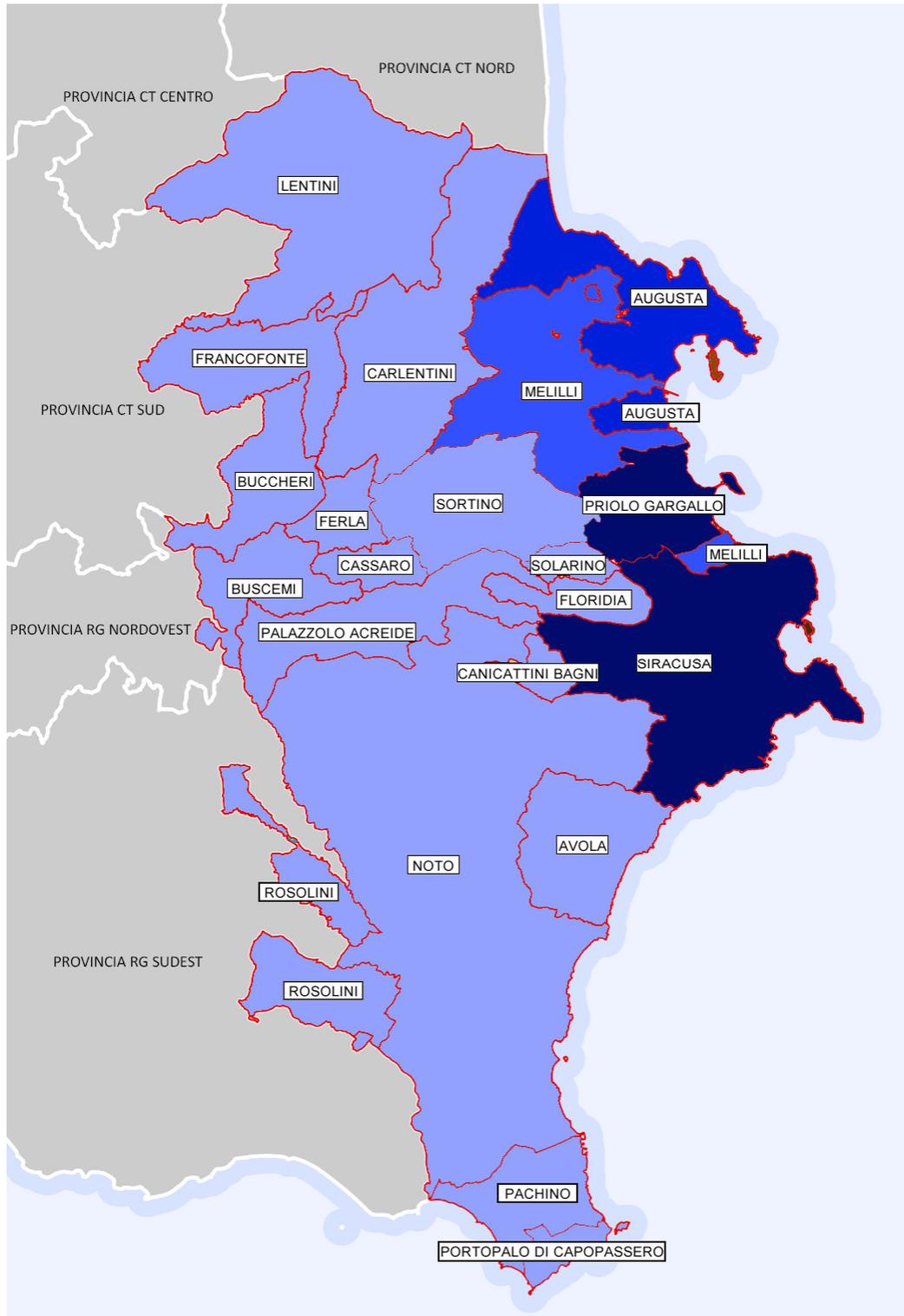


Fig. 59 - Mappa di accessibilità Place&Time Rank

3. Analisi delle centralità della provincia di Siracusa: stato di fatto

Per condurre la valutazione degli indici di centralità per il caso in esame è anzitutto necessario definire un grafo. Poiché sulla base dei dati disponibili la provincia di Siracusa è stata suddivisa in 21 zone, ciascuna corrispondente ad un comune, anche per l'esame delle centralità si è scelto di rappresentare ciascuna zona, o meglio il suo *centroide*, con un *nodo*, mentre gli *archi* rappresentano le infrastrutture stradali principali che collegano le zone. È evidente che il grafo così definito è notevolmente semplificato rispetto alla formulazione originale della metodologia *Mca*, che invece considera come nodo ciascuna intersezione stradale. Questa approssimazione è stata necessaria sia per la quantità e tipologia di dati a disposizione, sia per poter lavorare alla stessa "scala" e quindi confrontare i valori di centralità con quelli di accessibilità, che come si è visto sono zonali.

Dunque il grafo semplificato (Fig. 60) della provincia di Siracusa risulta composto da:

- 26 nodi, di cui 21 rappresentativi delle zone interne e 5 delle zone esterne al territorio provinciale ma ad esso limitrofe;
- 47 archi, di cui 37 raffiguranti collegamenti tra nodi interni alla provincia e 10 relativi a connessioni tra zone interne ed esterne.

Si è scelto di escludere dal grafo le zone esterne alla provincia di Siracusa e con questa non confinanti poichè gli scambi con queste sono ridotti e comunque "filtrati" dalle province limitrofe (Catania e Ragusa).

Inoltre non sono stati valutati i collegamenti diretti tra zone esterne al territorio in esame (Catania- Catania, Catania-Ragusa, Ragusa-Ragusa), poiché l'analisi delle centralità viene effettuata solo per la provincia di Siracusa, pur tenendo conto delle connessioni di questa con Catania e Ragusa.

Inoltre è parso appropriato nell'ambito della presente ricerca caratterizzare il suddetto grafo attribuendo dei *pesi* agli archi; ciò è stato possibile sia in termini di lunghezze reali dei percorsi che di tempi di percorrenza (questi ultimi assunti pari al costo generalizzato del trasporto come nell'analisi di accessibilità). Pertanto il grafo così definito, pur se semplificato, risulta così "pesato". Ciò condiziona fortemente i valori delle misure di centralità, nello specifico quella di *closeness*.

Con le considerazioni suddette si sono valutate, utilizzando le definizioni di Freeman (1979) con riferimento alle reti sociali (riportate nel Capitolo 3 al Paragrafo 7.3), le centralità di *degree*, *closeness* e *betweenness*.

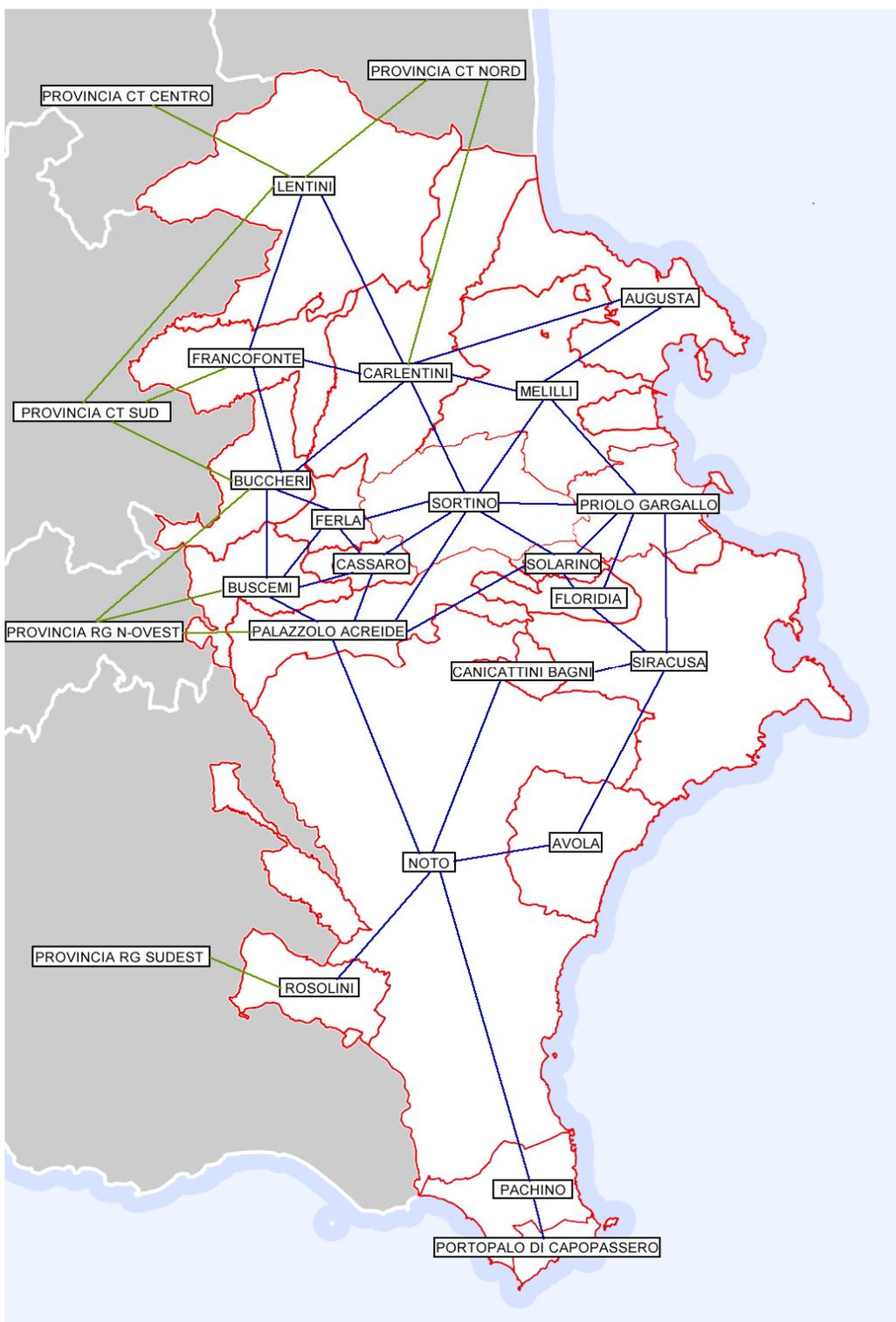


Fig. 60 - Grafo semplificato utilizzato per l'analisi di centralità della provincia di Siracusa

3.1. Degree centrality

Come si è detto ne capitolo precedente, il *grado* di un nodo è una misura di quanto esso sia collegato ad altri nodi; ovviamente un nodo è tanto più importante quanto risulta maggiormente connesso. Pertanto la centralità di grado C^D di un nodo dipende dal numero di archi che in questo convergono; essa dunque è solo funzione della topologia del grafo (e non dei pesi degli archi).

Per il caso in esame i risultati ottenuti in termini di *degree centrality* sono riportati in Tabella 15.

Tabella 15 – Valori di *degree centrality* delle zone della provincia di Siracusa

ZONA	C^D
AUGUSTA	0,08
AVOLA	0,08
BUCCHERI	0,24
BUSCEMI	0,20
CANICATTINI BAGNI	0,08
CARLENTINI	0,28
CASSARO	0,16
FERLA	0,16
FLORIDIA	0,12
FRANCOFONTE	0,16
LENTINI	0,20
MELILLI	0,16
NOTO	0,20
PACHINO	0,08
PALAZZOLO ACREIDE	0,24
ROSOLINI	0,08
SIRACUSA	0,16
SOLARINO	0,16
SORTINO	0,28
PORTOPALO DI CAPO PASSERO	0,04
PRIOLO GARGALLO	0,20

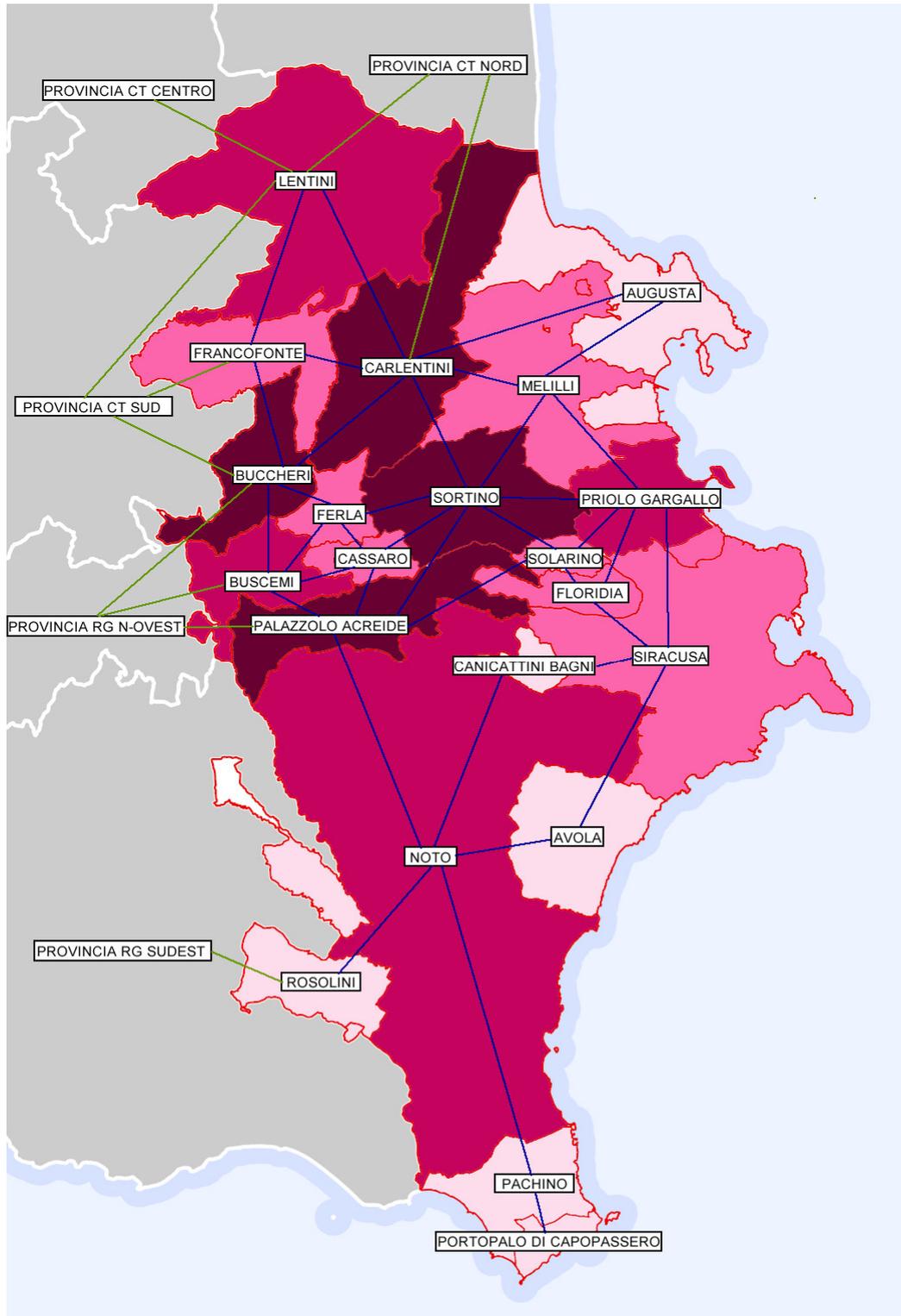


Fig. 61 - Mappa di *degree centrality*

3.2. Closeness centrality

Questo indice di vicinanza misura la centralità di un nodo in funzione della sua distanza media dagli altri; di conseguenza un nodo è tanto più centrale quanto minore è la somma dei percorsi minimi da questo verso gli altri nodi.

Di conseguenza C^C è funzione sia della geometria del grafo che dei pesi degli archi. Per la presente analisi la *closeness centrality* è stata valutata in due casi: considerando come caratteristica dell'arco una volta la distanza e l'altra il tempo di percorrenza a rete carica, cioè dopo aver utilizzato il modello di assegnazione. Tale calcolo ha fornito i valori contenuti in Tabella 16.

Tabella 16 – Valori di *closeness centrality* delle zone della provincia di Siracusa

ZONA	C^{Ct}	C^{Cd}
AUGUSTA	0,0186	0,0000174
AVOLA	0,0237	0,0000184
BUCCHERI	0,0245	0,0000214
BUSCEMI	0,0262	0,0000225
CANICATTINI BAGNI	0,0236	0,0000221
CARLENTINI	0,0229	0,0000207
CASSARO	0,0256	0,0000239
FERLA	0,0248	0,0000237
FLORIDIA	0,0249	0,0000213
FRANCOFONTE	0,0224	0,0000182
LENTINI	0,0221	0,0000198
MELILLI	0,0222	0,0000200
NOTO	0,0221	0,0000177
PACHINO	0,0174	0,0000146
PALAZZOLO ACREIDE	0,0233	0,0000214
ROSOLINI	0,0199	0,0000152
SIRACUSA	0,0213	0,0000192
SOLARINO	0,0269	0,0000223
SORTINO	0,0244	0,0000233
PORTOPALO DI CAPO PASSERO	0,0152	0,0000131
PRIOLO GARGALLO	0,0242	0,0000212

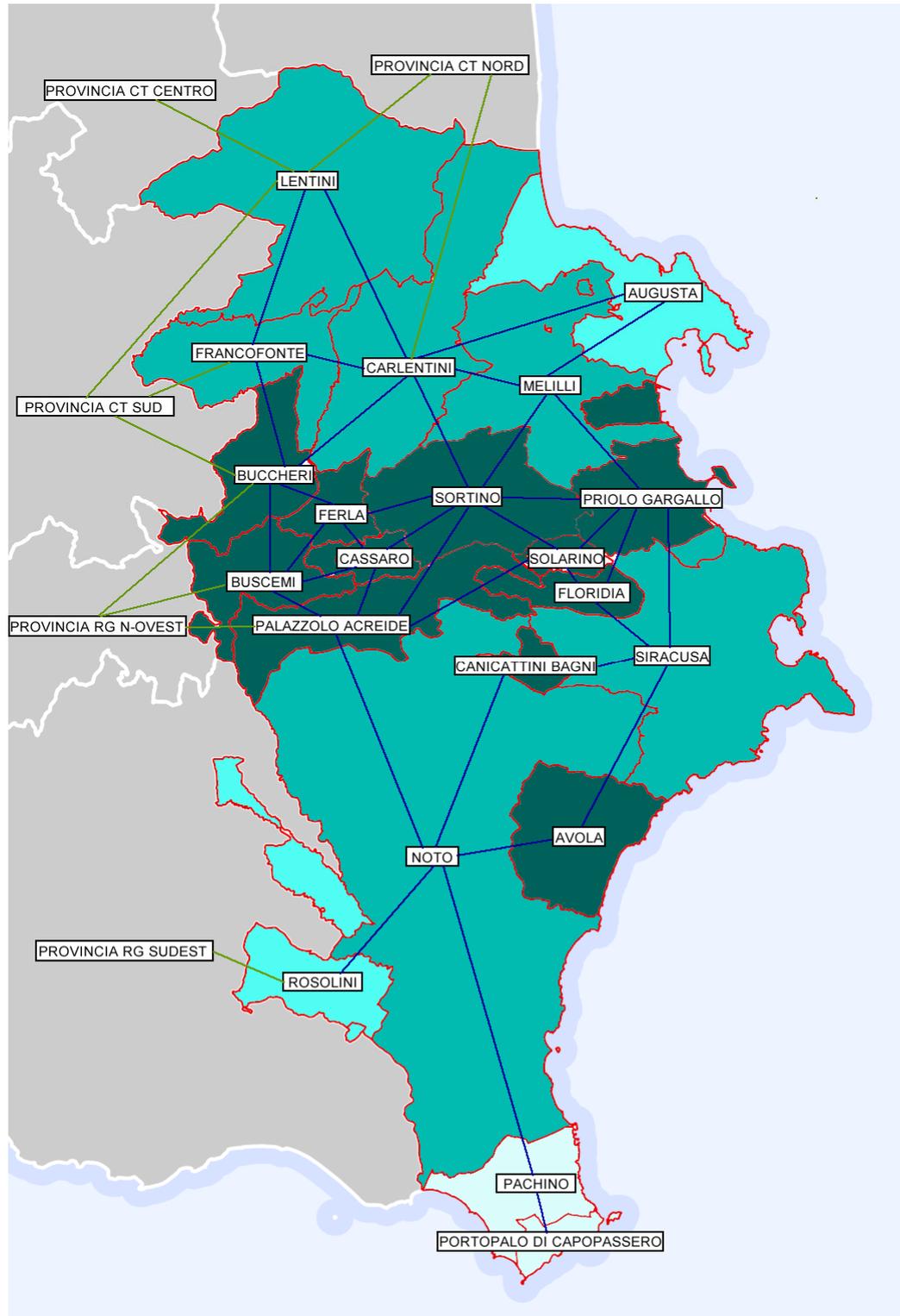


Fig. 62 - Mappa di *closeness centrality* (calcolata in base al tempo)

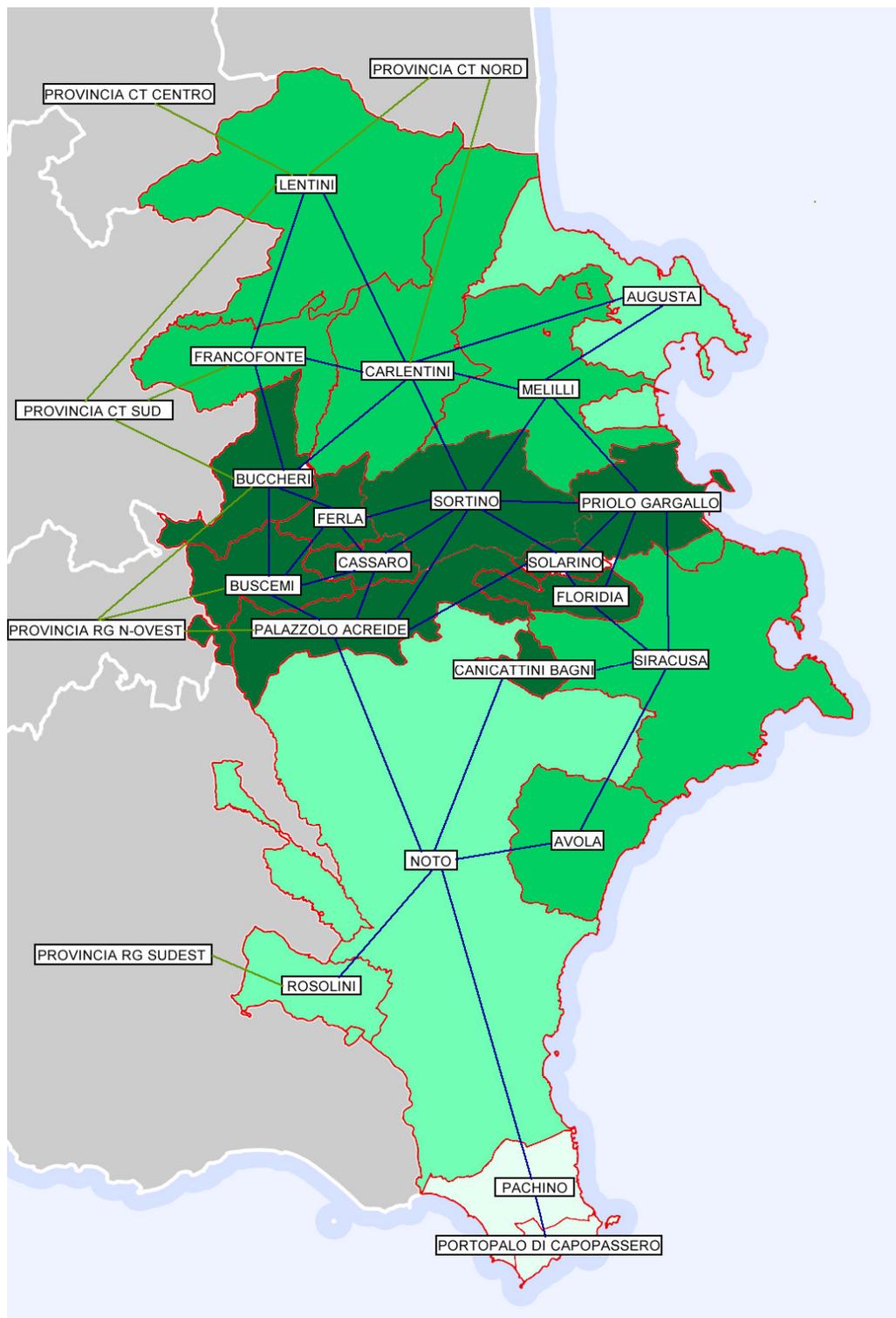


Fig. 63 - Mappa di *closeness centrality* (calcolata in base alla distanza)

3.3. Betweenness centrality

La *medietà* è una misura di centralità basata sul fatto che un nodo può considerarsi tanto più centrale quanto esso è attraversato dai percorsi minimi che connettono ogni coppia di nodi. In effetti i “nodi intermedi” sono in grado di condizionare, sia in senso positivo (ad es. scambio di informazioni) che negativo (ad es. trasmissione di virus) i nodi di origine e destinazione del collegamento.

La misura C^B di un generico nodo i dipende dalla somma del numero minimo di nodi dei percorsi tra ogni di origine e destinazione e da quanti di questi passano per i . Pertanto per il calcolo della centralità di betweenness si è resa necessaria la costruzione della matrice degli shortest paths rappresentata in Tabella 18; l'elaborazione ha fornito i risultati riportati in Tabella 17.

Tabella 17 – Valori di *betweenness centrality* delle zone della provincia di Siracusa

ZONA	C^B
AUGUSTA	0,089
AVOLA	0,273
BUCCHERI	0,149
BUSCEMI	0,124
CANICATTINI BAGNI	0,086
CARLENTINI	0,324
CASSARO	0,108
FERLA	0,127
FLORIDIA	0,130
FRANCOFONTE	0,121
LENTINI	0,222
MELILLI	0,343
NOTO	0,394
PACHINO	0,156
PALAZZOLO ACREIDE	0,235
ROSOLINI	0,143
SIRACUSA	0,359
SOLARINO	0,146
SORTINO	0,171
PORTOPALO DI CAPO PASSERO	0,079
PRIOLO GARGALLO	0,340

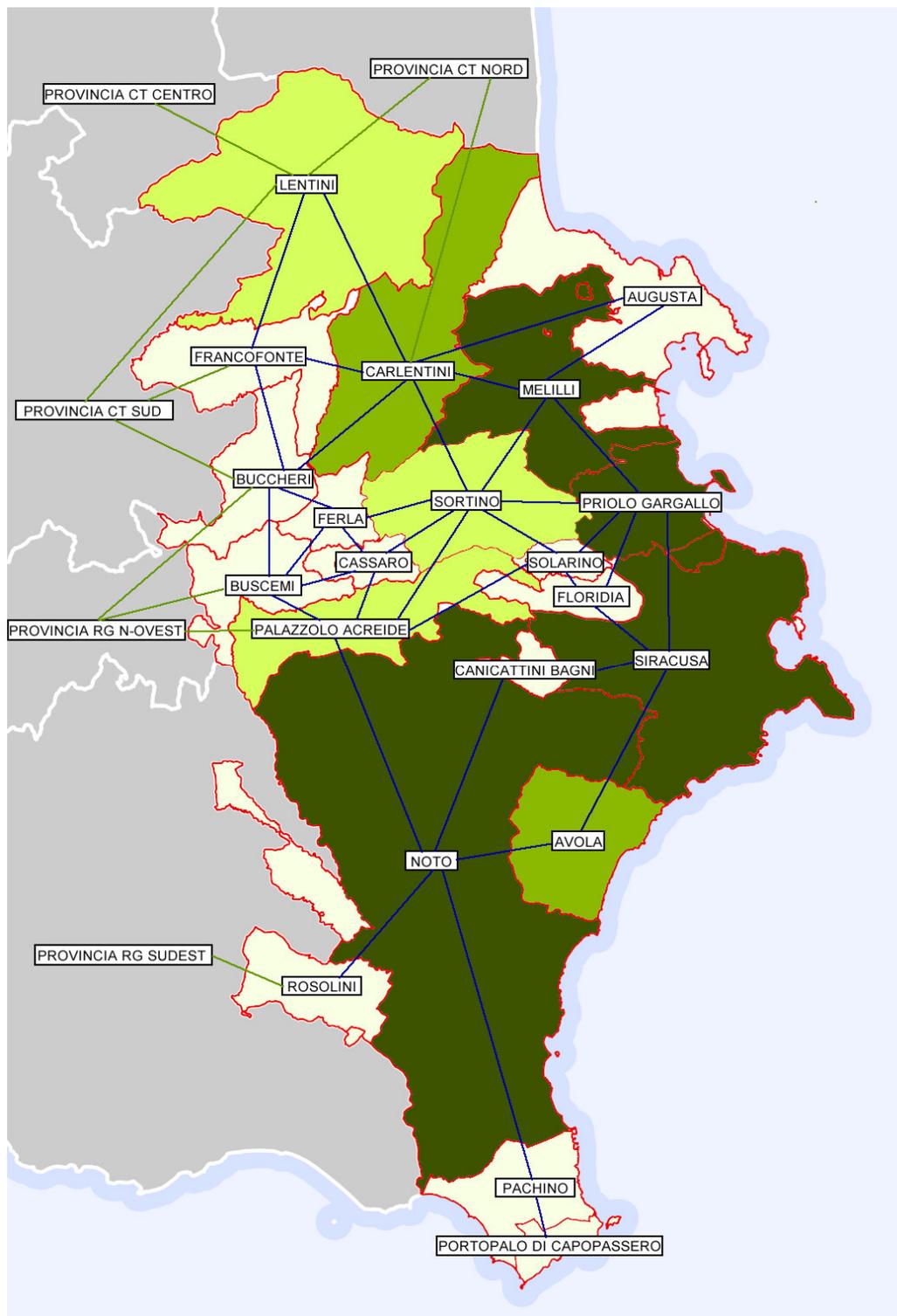


Fig. 64 - Mappa di *betweenness centrality*

Tabella 18 – Matrice degli *shortest paths*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1 AUGUSTA	-																										
2 AVOLA		-																									
3 BUCCHERI			-																								
4 BUSCEMI				-																							
5 CANICATTI BASSI					-																						
6 CARLENTINI						-																					
7 CASSARO							-																				
8 FERLA								-																			
9 FLORIDA									-																		
10 FRANCOFONTE										-																	
11 LENTINI											-																
12 NEULLI												-															
13 NOTO													-														
14 PACHINO														-													
15 PALAZZO ACREDE															-												
16 ROSOLINI																-											
17 SIRACUSA																	-										
18 SOLARINO																		-									
19 SORTINO																			-								
20 PORTO PALO																				-							
21 PRIZIO GARGALLO																					-						
22																						-					
23																							-				
24																								-			
25																									-		
26																										-	

Mark of shortest paths

4. Confronto tra le metodologie utilizzate

Prima esaminare i risultati ottenuti con le elaborazioni condotte nell'ambito della presente ricerca è fondamentale notare che non è possibile confrontare direttamente i valori numerici assunti dai vari indici poiché questi derivano da metodologie differenti, di conseguenza anche gli ordini di grandezza possono essere fortemente diversi. Per comparare questi dati così eterogenei, pur se riferiti alla stessa entità (l'accessibilità) o ad un altro indice ad essa raffrontabile (la centralità), si è fatto ricorso al metodo statistico basato sulla *correlazione*, mediante il quale è possibile studiare il comportamento congiunto delle variabili.

La correlazione è una misura della relazione lineare fra due o più variabili; di conseguenza valutando la correlazione si analizza l'eventuale l'esistenza di un legame per cui a variazioni di una variabile corrispondono variazioni dell'altra.

In statistica si definisce il grado di correlazione fra due variabili attraverso il coefficiente di correlazione lineare (o di Pearson) che può assumere valori compresi tra -1 (correlazione perfetta negativa) e 1 (correlazione perfetta positiva):

$$\text{Correl}(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Se il valore assunto dall'indice di correlazione è positivo, ciò indica che al crescere di una variabile anche l'altra tende ugualmente a crescere in media; invece una correlazione negativa segnala che al crescere di una variabile, l'altra in media tende a decrescere.

Pertanto l'interpretazione del coefficiente di correlazione lineare è fatta in funzione della sua vicinanza ai valori estremi o allo zero, quindi:

- se è pari ad 1 indica una perfetta relazione lineare diretta;
- se assume valore -1 si ha una perfetta relazione lineare inversa;
- se risulta pari a 0 significa assenza di relazione lineare.

Inoltre nel caso di correlazione diretta, ovvero per valori positivi del coefficiente, questa viene detta: *debole* se l'indice assume valori tra 0 e 0,3; *moderata* tra 0,3 e 0,7; *forte* per valori maggiori di 0,7.

Questa procedura risulta maggiormente appropriata al caso in esame per cui è stata costruita la matrice di correlazione, riportata in Tabella 19, che contiene appunto i valori del coefficiente di correlazione per le varie misure di accessibilità e centralità.

Tabella 19 – Matrice di correlazione

	A P	A A	P R	P&TR	C ^D	C ^{Ct}	C ^{Cd}	C ^B
A P	1							
A A	0,977	1						
P R	0,009	0,155	1					
P&TR	-0,028	0,120	0,997	1				
C ^D	0,532	0,477	-0,011	-0,031	1			
C ^{Ct}	0,912	0,828	-0,144	-0,188	0,546	1		
C ^{Cd}	0,753	0,651	-0,061	-0,093	0,605	0,906	1	
C ^B	0,280	0,397	0,493	0,475	0,418	0,064	-0,010	1

Tale matrice è ovviamente simmetrica e tutti i valori che si trovano lungo la diagonale sono pari ad 1 poiché, com'è facilmente intuibile, ciascun indice di accessibilità/centralità è perfettamente correlato positivamente con se stesso.

La misura relativa all'accessibilità potenziale passiva (indicata con la sigla AP nella matrice) è fortemente correlata, con valori prossimi all'unità, sia con l'accessibilità potenziale attiva (AA) che con la *closeness centrality* valutata sulla base del tempo di viaggio (C^{Ct}), mentre moderata è la correlazione con *closeness* calcolata utilizzando la distanza degli spostamenti C^{Cd} e con la *degree* C^D, ancora minore poi con la *betweenness* C^B; praticamente prossima allo zero quella con il Place Rank (PR) e la versione modificata (P&TR).

L'accessibilità potenziale attiva (AA) ha un comportamento analogo alla corrispondente passiva, infatti è ben correlata con AP e C^{Ct} mentre valori via via più modesti si hanno con C^{Cd}, C^D, C^B, PR e P&TR.

L'indice di accessibilità Place Rank è correlato fortemente (con indice quasi pari ad 1) con la similare P&TR, moderatamente con C^B, mentre quasi per nulla con AA e AP e addirittura negativamente con C^D, C^{Ct} e C^{Cd}.

La misura di accessibilità Place&Time Rank ha una forte correlazione con la somigliante PR e in maniera più modesta con C^B; invece ha una relazione quasi nulla con AA e perfino negativa con C^{Cd}, AP, C^D e C^{Ct}.

Trattando delle misure di centralità, quella di degree è caratterizzata da una moderata correlazione sia con le misure di accessibilità AA ed AP che con le altre di centralità; la corrispondenza è quasi nulla (con valori negativi prossimi allo zero) con PR e P&TR.

La closeness centrality calcolata sulla base del tempo di viaggio risulta correlata positivamente, con valori vicini ad 1, con AA AP e C^{Cd} ed in maniera più modesta con C^D ; la correlazione è quasi nulla o anche negativa nei confronti di C^B , PR e P&TR.

Analogamente accade per la centralità di vicinanza valutata utilizzando la distanza degli spostamenti C^{Cd} , anche se la relazione con AA ed AP non è così forte come visto per la C^{Ct} .

Infine la betweenness centrality risulta correlata moderatamente ed in misura via via minore con PR, P&TR, C^D , AA, AP, C^{Ct} e C^{Cd} .

Si ricorda che le nozioni (e quindi le misure) di accessibilità e centralità hanno differenti basi teoriche e, tradizionalmente, differenti applicazioni; ma poiché, come si è visto nel Capitolo 3, mostrano notevoli similarità si è scelto nell'ambito della presente ricerca di effettuare entrambe le analisi mediante i relativi indici sul medesimo caso studio e confrontare i risultati conseguiti, così da valutare l'eventuale coerenza tra i risultati ottenuti con le differenti metodologie e di esaminare le proprietà di un nodo da entrambi i punti di vista.

In conclusione, sulla base dei risultati riportati in Tabella 19, si può affermare che gli indici di accessibilità potenziale AP ed AA sono complessivamente ben correlati tra loro e, anche se in modo variabile, con le misure di centralità, pertanto le valutazioni effettuate utilizzando tali misure forniscono risultati coerenti tra loro, quindi a valori elevati/ridotti di accessibilità calcolati con AP ed AA corrispondono valori elevati/ridotti di centralità.

Le misure PR e P&TR basate sul Place Rank hanno una forte correlazione tra loro e in misura più moderata con la *betweenness* C^B ; tuttavia la corrispondenza con AA, AP, C^{Ct} , C^{Cd} e C^D è debole o addirittura inversa, pertanto confrontando valori calcolati con i diversi indici si ottengono valutazioni discordanti.

Da ciò emerge che probabilmente il Place Rank, sia nella versione originale che in quella modificata in questa sede, non è da considerarsi come una misura di accessibilità in senso stretto. Data la sua correlazione in termini di risultati con la *betweenness centrality* ma soprattutto la sua affinità, dal un punto di vista dei fondamenti teorici, con la *eigenvector centrality*, si potrebbe considerare il Place Rank come una misura di centralità. Si osserva però che questo, al contrario delle classiche misure di *centrality*, è assolutamente indipendente dalla topologia

della rete ma invece è funzione, nella versione originale, solo della domanda di trasporto e, in quella modificata, anche dei tempi di spostamento.

Da queste considerazioni si deduce che il Place Rank, in entrambe le formulazioni, si colloca “a metà” tra una misura di accessibilità ed una di centralità poiché condivide i dati di input dei tipici *accessibility index* mentre la sua definizione matematica ed i risultati sono affini ad alcune tipologie di *centrality*.

5. Analisi dei risultati

Alla luce di quanto esposto nel paragrafo precedente, verranno nel seguito confrontati i risultati conseguiti con gli indici di *potential accessibility* e con quelli di *centrality*, considerando quella relativa al Place Rank in posizione intermedia tra le due metodologie.

In termini di misure *location-based*, le zone in cui si riscontrano i valori maggiori di accessibilità passiva sono: Solarino, Floridia e Avola. Sempre caratterizzati da valori elevati sono: Priolo Gargallo, Buscemi, Lentini, Carlentini, Cassaro, Sortino, Francofonte, Buccheri, Ferla. Hanno valori più modesti i comuni di: Noto, il capoluogo Siracusa, Canicattini Bagni, Melilli, Palazzolo Acreide, Rosolini; mentre le zone aventi accessibilità più scarsa sono Augusta, Pachino e Portopalo di Capo Passero.

Per quanto attiene all'accessibilità attiva, le zone caratterizzate da valori più elevati sono: Solarino, Avola, Priolo Gargallo e Floridia. Valutazioni ancora buone si hanno per: Lentini, Carlentini, Siracusa, Buscemi, Noto, Sortino, Cassaro; valori più modesti si hanno invece per: Francofonte, Melilli, Buccheri, Canicattini Bagni, Ferla, Palazzolo Acreide, Rosolini. Infine risultano scarsamente accessibili Augusta, Pachino e Portopalo di Capo Passero.

Con riferimento all'indice Place Rank, i valori più elevati si riscontrano per le zone rappresentative dei comuni di Siracusa e Priolo Gargallo; mentre valori ancora prossimi alla media si hanno per Augusta e Melilli. Valori sensibilmente inferiori caratterizzano le zone di Lentini, Floridia, Carlentini, Noto, Avola, Pachino, Palazzolo Acreide e Solarino; infine Canicattini Bagni, Sortino, Francofonte, Rosolini, Portopalo di Capo Passero, Buccheri, Cassaro, Buscemi e Ferla.

La misura Place&Time Rank fornisce risultati pressoché simili a quelli calcolati con la formulazione originale dell'indice, eccetto che per la zona di Portopalo di Capo Passero che, tenendo conto dei tempi di spostamento, è caratterizzata da un valore maggiore, ma rispetto alle altre zone risulta sempre poco accessibile.

Passando adesso ad analizzare i valori di centralità, in termini di *degree* risultano maggiormente centrali le zone di Carlentini, Sortino, Buccheri e Palazzolo; assumono valori superiori alla media Buscemi, Lentini, Noto e Priolo; seguono poi con valori inferiori alla media Cassaro, Ferla, Francofonte, Melilli, Siracusa, Solarino e Floridia; infine i valori più bassi caratterizzano le zone di Augusta, Avola, Canicattini Bagni, Pachino, Rosolini e Portopalo.

Con riferimento alla *closeness centrality* calcolata utilizzando il tempo di viaggio le zone più centrali sono: Solarino, Buscemi, Cassaro, Floridia, Ferla, Buccheri, Sortino, Priolo Gargallo, Avola, Canicattini Bagni e Palazzolo Acreide. Sono caratterizzate da valori minori ma ancora superiori alla media: Carlentini, Francofonte, Melilli, Lentini, Noto e Siracusa; assumono valori subito inferiori alla media Rosolini e Augusta, mentre sono poco centrali Pachino e Portopalo di Capo Passero.

I risultati relativi alla *closeness* valutata sulla base della distanza degli spostamenti forniscono valutazioni analoghe a quelle della misura precedente ad esclusione di Avola e Noto caratterizzati da valori meno elevati.

In termini di *betweenness centrality* assumono maggiore importanza le zone di Noto, Siracusa, Melilli e Priolo Gargallo, mentre valori prossimi alla media si hanno per Carlentini e Avola (superiori), Palazzolo Acreide, Lentini e Sortino (inferiori). Infine sono caratterizzati da valori via via minori Pachino, Buccheri, Solarino, Rosolini, Floridia, Ferla, Buscemi, Francofonte, Cassaro, Augusta, Canicattini Bagni e Portopalo di Capo Passero.

L'esame dei risultati fin qui esposto focalizza sul confronto metodologico tra i diversi approcci utilizzati ed è stato condotto proprio al fine di osservare come i vari indici qualificano diversamente le zone.

Tuttavia, per condurre un'analisi finalizzata alla caratterizzazione delle zone e non più all'esame dei metodi a tal scopo utilizzati, è stata elaborata la Tabella 20 che contiene una immediata visualizzazione della valutazione di ogni zona, con i vari indici utilizzati, in cui il simbolo ● corrisponde ai valori scarsi mentre ●●●● si riferisce a quelli elevati.

Questa ulteriore rappresentazione costituisce praticamente un confronto tra le varie mappe di accessibilità e centralità realizzate; ciò risulta utile soprattutto al fine di contestualizzare territorialmente i risultati ottenuti così da poter evidenziare le criticità e successivamente, riferendosi alle scelte operate nell'ambito del PTP, verificare la coerenza delle azioni pianificate con le necessità del territorio riguardo l'accessibilità.

Tabella 20 – Riepilogo semplificato dei risultati

Zona	A P	A A	P R	P&T R	C ^D	C ^{Ct}	C ^{Cd}	C ^B
AUGUSTA	●	●	●●●	●●●	●	●●	●●	●
AVOLA	●●●●	●●●●	●	●	●	●●●●	●●●	●●●
BUCCHERI	●●●	●●	●	●	●●●●	●●●●	●●●●	●
BUSCEMI	●●●	●●●	●	●	●●●	●●●●	●●●●	●
CANICATTINI B.	●●	●●	●	●	●	●●●●	●●●●	●
CARLENTINI	●●●	●●●	●	●	●●●●	●●●	●●●	●●●
CASSARO	●●●	●●●	●	●	●●	●●●●	●●●●	●
FERLA	●●●	●●	●	●	●●	●●●●	●●●●	●
FLORIDIA	●●●●	●●●●	●	●	●●	●●●●	●●●●	●
FRANCOFONTE	●●●	●●	●	●	●●	●●●	●●●	●
LENTINI	●●●	●●●	●	●	●●●	●●●	●●●	●●
MELILLI	●●	●●	●●	●●	●●	●●●	●●●	●●●●
NOTO	●●	●●●	●	●	●●●	●●●	●●	●●●●
PACHINO	●	●	●	●	●	●	●	●
PALAZZOLO A.	●●	●●	●	●	●●●●	●●●●	●●●●	●●
ROSOLINI	●●	●●	●	●	●	●●	●●	●
SIRACUSA	●●	●●●	●●●●	●●●●	●●	●●●	●●●	●●●●
SOLARINO	●●●●	●●●●	●	●	●●	●●●●	●●●●	●
SORTINO	●●●	●●●	●	●	●●●●	●●●●	●●●●	●●
PORTOPALO	●	●	●	●	●	●	●	●
PRIOLO G.	●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●	●●●●	●●●●	●●●●

5.1. Indicazione delle criticità

Si procede nel seguito ad evidenziare per ogni zona della provincia di Siracusa le criticità, intese come carenza di *accessibilità* e *centralità*, emerse dalle analisi condotte nell'ambito della presente ricerca. A tal fine risulta conveniente l'esame della Tabella 20 nonché il confronto tra le mappe.

Augusta

Ha una scarsa accessibilità attiva e passiva ed un buon valore di Place Rank; risulta anche moderatamente centrale in termini di *closeness* mentre ha valori scarsi di *degree* e *betweenness*; ciò è in accordo con fatto che questo comune è ben connesso alla rete di trasporto grazie all'autostrada A18 ma, trovandosi sulla costa non è "di passaggio" e non è caratterizzato da molti collegamenti diretti.

Avola

Risulta caratterizzata da ottimi valori di accessibilità e di *closeness*; sono peraltro buoni i risultati in termini di *betweenness*; scarsi invece quelli di *degree* e Place Rank. In effetti questo comune risulta ben collegato alla rete ed è inoltre attraversato dai flussi che dalla parte sud della provincia si spostano verso il centro-nord della stessa lungo la costa.

Buccheri e Buscemi

Per questi comuni risultano buone le valutazioni in termini di accessibilità, sia attiva che passiva, come anche di *degree* e *closeness*; assolutamente minori quelle di *betweenness* e Place Rank. In effetti essi sono ben collegati con i numerosi comuni circostanti e con la vicina provincia di Ragusa; tuttavia essendo ai margini della provincia siracusana non vengono interessati da flussi in attraversamento.

Canicattini Bagni

Ha una modesta accessibilità attiva e passiva ed un ottima centralità di *closeness*; sensibilmente più scarsi sono i risultati in termini di Place Rank, *degree* e *betweenness*. Queste valutazioni concordano con il fatto che questo comune è localizzato in posizione quasi baricentrica rispetto al territorio provinciale ma non risulta essere "di passaggio" poiché la maggiore domanda di trasporto si concentra lungo la costa e dal nord della provincia verso il capoluogo.

Carlentini e Lentini

Sono caratterizzati da buoni valori di accessibilità ed hanno anche buoni risultati in termini di *degree*, *closeness* e *betweenness*; scarso il Place Rank. Le stime condotte con misure tradizionali confermano che questi comuni sono ben collegati alla rete, interessati da rilevanti flussi di traffico ed occupano una posizione strategica rispetto al territorio provinciale poichè è indispensabile attraversarli per raggiungere la parte centrale e settentrionale della provincia di Catania.

Cassaro e Ferla - Floridia e Solarino

Per questi comuni si hanno buoni risultati in termini sia di accessibilità attiva che passiva ed ottimi valori di *closeness*; d'altra parte sono modesti quelli di *degree* e perfino scarsi quelli di *betweenness* e Place Rank. Questa valutazione rispecchia la condizione di questi territori che sono ben connessi alla rete di trasporto principale ma data la loro localizzazione non sono interessati da flussi in attraversamento.

Francofonte

Risulta caratterizzato da una buona accessibilità e lo stesso può rilevarsi per la *closeness*; valori inferiori alla media si hanno in termini di *degree* mentre sono fortemente scadenti quelli di *betweenness* e Place Rank. In effetti questo comune è ben collegato con i quelli vicini e con la parte sud della provincia di Catania; tuttavia essendo al confine ovest del territorio provinciale siracusano, in esso i flussi in attraversamento non sono significativi.

Melilli

Ha discreti valori di accessibilità, attiva e passiva, mentre sono buoni quelli relativi alla *closeness*; più modesti sono i risultati in termini di *degree* e Place Rank. Ottima la valutazione di centralità di *betweenness* e ciò è in accordo con il fatto che questo comune costituisce un passaggio necessario lungo l'asse di mobilità Siracusa-Catania.

Noto

Per questo comune sono stati ottenuti buoni risultati per quanto attiene a centralità di *degree* e *closeness* nonché di accessibilità; scarsi i valori di Place Rank mentre sono di gran lunga superiori alla media quelli di *betweenness*. Ciò è

dovuto al fatto che il territorio di Noto è una tappa obbligata per gli spostamenti aventi origine/destinazione l'estremo inferiore della provincia siracusana così come la parte sud-est della provincia di Ragusa.

Pachino e Portopalo di Capo Passero

Questi due comuni sono gli unici caratterizzati dall'assoluta concordanza delle valutazioni condotte con i diversi indici, secondo cui appunto questi territori sono i più marginali ed i meno accessibili della provincia; in effetti la loro localizzazione è tale che sono periferici rispetto allo sviluppo geografico della provincia e circondati dal mare su tre lati, infatti come si è detto ad essi si può accedere solo attraverso Noto. Inoltre l'infrastruttura stradale che li connette al resto della rete è al massimo di tipo provinciale quindi non sono attraversati né da strade statali né tanto meno dalla nuova autostrada.

Palazzolo Acreide

Risulta contraddistinto da valori di accessibilità discreti mentre sono molto maggiori quelli relativi alla centralità di *degree* e *closeness*; tuttavia sono modesti quelli di *betweenness* e scarso è il Place Rank. Effettivamente questo è ben collegato con i numerosi comuni limitrofi e con la provincia di Ragusa ma non è interessato da flussi in attraversamento.

Rosolini

La valutazione effettuata fornisce valori di accessibilità, sia attiva che passiva, e di *closeness centrality* inferiori alla media e sono persino scarsi quelli relativi a *degree*, *betweenness* e Place Rank. In realtà questo comune è alquanto periferico rispetto all'intero territorio provinciale anche se ben connesso alla rete grazie all'autostrada che in esso trova il suo punto di origine.

Siracusa

Il capoluogo è caratterizzato da valori elevati in termini di accessibilità, *closeness*, *betweenness* e Place Rank, mentre risultano inferiori alla media quelli di *degree*; ciò è in accordo con il fatto che Siracusa, affacciandosi sullo Ionio, non assume nel *network* in una posizione topologicamente favorevole ed infatti è direttamente connessa ad un numero di nodi non molto alto ma nonostante ciò è centrale poiché ben collegata in termini trasportistici ed ovviamente polo di

attrazione di domanda di trasporto poiché sede di numerose e peculiari attività, nonché di residenze.

Sortino

Per questo comune si sono conseguiti rispettivamente buoni ed ottimi risultati con riferimento all'accessibilità ed alla centralità di *degree* e *closeness*; sono però modesti i valori di *betweenness* e Place Rank. In effetti esso si trova in posizione geograficamente centrale rispetto alla rete dei nodi rappresentativi delle zone della provincia siracusana ed in esso converge il maggior numero di archi, nonostante ciò, non trovandosi prossimo all'autostrada, la sua non è una collocazione "di passaggio" bensì di "medietà".

Priolo Gargallo

È l'unico comune che ha ottenuto valutazioni superiori alla media con tutte le misure utilizzate per le analisi di accessibilità e centralità; ciò conferma il fatto che Priolo è ben connesso alla rete di trasporto ed è centrale nella varie accezioni considerate, anche se in misura minore in termini di *degree* per le stesse motivazioni viste a proposito di Siracusa.

5.2. Coerenza tra i risultati dell'analisi e le azioni del PTP

Prima di confrontare criticità emerse dalle analisi condotte nell'ambito della presente ricerca con le azioni di piano è necessario evidenziare che le prime riguardano esclusivamente il trasporto privato di persone. Invece il PTP avendo come obiettivo precipuo il riequilibrio dell'intero sistema dei trasporti, compie scelte che riguardano, oltre il trasporto con il mezzo privato, anche il trasporto pubblico (su gomma e su ferro), le modalità ciclistica e pedonale nonché il trasporto merci. Ciò è conforme con la necessità di pianificare in maniera coerente ed integrata le varie modalità di trasporto costituenti il *sistema*. In questa sede invece ci si è limitati al solo trasporto privato.

Comparando le considerazioni esposte nel precedente paragrafo con le azioni previste nello Schema di massima del PTP per la riorganizzazione del sistema dei trasporti (riportate in Fig. 55) emergono numerosi elementi di convergenza.

Innanzitutto l'azione relativa al "miglioramento dell'accessibilità al territorio interno e ai sistemi produttivi locali" concorda con i risultati ottenuti, soprattutto per le zone di Portopalo, Pachino e Rosolini; lo stesso può dirsi a proposito di "realizzare nuovi percorsi di accesso alle aree costiere".

Anche per quanto riguarda "il miglioramento dell'accessibilità al capoluogo" e "alla costa e al mare" ci si ritiene in accordo.

Per quanto attiene poi il "potenziamento del collegamento con il Ragusano e l'aeroporto di Comiso", anche dalle mappe di accessibilità emerge chiaramente questa necessità, soprattutto con riferimento alla parte sud-est della provincia di Ragusa.

6. La pianificazione dei trasporti della Provincia di Siracusa

Le azioni previste nello Schema di Massima del PTP sono state dettagliate nel successivo documento "Analisi e Progetto del Sistema dei Trasporti nella Provincia di Siracusa" che costituisce da una parte l'approfondimento del settore "Mobilità di persone e merci" (cioè il "Piano di settore dei trasporti e della viabilità") nell'ambito del Piano Territoriale Provinciale e dall'altra definisce gli indirizzi strategici e le azioni prioritarie sulla base delle quali procedere alla redazione del Piano Provinciale dei Trasporti e della Mobilità (PPTM).

A dispetto della duplice finalità, dal punto di vista dell'architettura del processo di pianificazione territoriale e dei trasporti, l'elaborazione è stata unitaria anche se multidisciplinare, in modo da attuare concretamente la pianificazione integrata.

Infatti tale documento è stato redatto superando il tradizionale approccio della pianificazione dei trasporti che prevede, a seguito della fase di analisi del sistema dei trasporti, la definizione delle criticità mediante interventi sull'offerta di mobilità (infrastrutture, mezzi, organizzazione dell'esercizio) o sulla gestione della domanda (adozione di regolamenti, tariffe, etc) considerando pressochè stazionario il contesto territoriale.

In questo caso invece gli interventi previsti sono a supporto dei progetti di sviluppo del territorio; in effetti questi per essere realmente efficaci devono essere accompagnati da adeguata accessibilità, e quindi da un sistema dei trasporti sostenibile (dai punti di vista ambientale, economico e sociale); il tal

senso si è considerato anche il ruolo dei trasporti come elemento catalizzatore dello sviluppo territoriale.

Quindi tale documento costituisce sia il Piano di settore dei trasporti e della viabilità funzionale al PTP, sia un Piano Direttore del PPTM, caratterizzato dal fatto che in esso il sistema dei trasporti è considerato non solo come supporto allo sviluppo socio-economico ma costituisce di per sé uno strumento per favorire lo sviluppo socio-economico stesso, in accordo con il ciclo di *feedback* trasporti-territorio (Fig. 1).

Si ricorda che un Piano Provinciale dei Trasporti e della Mobilità attiene alla pianificazione strategica (di lungo periodo) ed alla scala territoriale d'ambito locale; pertanto questo contiene interventi prioritari da realizzare in provincia in un orizzonte temporale all'incirca decennale.

Poiché, come si è detto, tale elaborato può essere considerato un piano direttore di un PPTM, realizzato privilegiando l'interazione trasporti-territorio, esso deve definire, in analogia alla pianificazione su scala regionale, gli "indirizzi strategici e gli interventi prioritari del sistema di trasporto e della mobilità generale" al fine di perseguire i seguenti obiettivi:

- minimizzare il costo generale di mobilità;
- favorire la sostenibilità ambientale dei trasporti;
- accrescere il livello di sicurezza dei sistemi di trasporto;
- proteggere il patrimonio archeologico, monumentale, storico, etc;
- garantire la coerenza con i piani di riassetto territoriale e sviluppo socio-economico;
- garantire la coerenza con le esigenze di protezione civile;
- favorire l'accessibilità delle aree interne;
- favorire il riequilibrio modale anche attraverso l'integrazione dei diversi vettori.

6.1. Obiettivi ed azioni condivise per un nuovo assetto della mobilità

Il documento in esame, dopo aver ripreso i temi trattati nell'ambito dello Schema di Massima del PTP e già riassunti in questa sede al paragrafo 3.1 del precedente Capitolo, focalizza poi sui riferimenti alla programmazione europea e sugli orientamenti della pianificazione dei trasporti a scala regionale e locale.

Per quanto attiene agli strumenti di programmazione sono stati considerati i seguenti: Quadro Strategico Nazionale 2007 – 2013, PON convergenza “Reti e mobilità” 2007 -2013, Programma Operativo regionale FESR 2007 – 2013 della Regione Siciliana.

Con riferimento alla pianificazione dei trasporti a scala regionale e locale, i documenti più rilevanti consistono nel Piano Regionale dei Trasporti e della Logistica della Regione Siciliana (2004), Piano attuativo del trasporto delle merci e della logistica (2004), Piano della Mobilità esteso alla piattaforma multimodale della Sicilia orientale (2008).

Dall’esame di questi strumenti si evince una sostanziale convergenza in merito agli obiettivi ed alle conseguenti azioni tendenti alla definizione di un nuovo assetto della mobilità di persone e merci in Sicilia e quindi anche nella provincia siracusana.

A livello di miglioramento dell’assetto socio-economico-ambientale del territorio, gli obiettivi generali condivisi riguardano la riduzione degli impatti ambientali, il miglioramento della coesione urbana e l’aumento della competitività dell’economia regionale.

Con particolare riferimento al sistema dei trasporti, gli obiettivi generali dichiarati possono essere ben sintetizzati in quello proprio del Quadro Strategico Nazionale che consiste nel “realizzare un sistema di trasporto efficiente, integrato, flessibile, sicuro e sostenibile”.

In merito agli obiettivi specifici emerge una generale tendenza alla promozione del riequilibrio modale a favore della ferrovia sia per il trasporto passeggeri, soprattutto a scala regionale, che per quello merci, anche al fine di ridurre la quota di trasporto su gomma a vantaggio della sicurezza di circolazione sulle strade. In accordo con tale obiettivo si rilevano azioni nel settore ferroviario che riguardano la rete ferroviaria regionale, il miglioramento del servizio ferroviario provinciale e in particolare il potenziamento dell’asse ferroviario Catania-Siracusa, così come l’ipotesi di riconversione in chiave turistica delle linee ferroviarie che allo stato attuale sono scarsamente utilizzate o dismesse.

Un altro obiettivo specifico riguarda il potenziamento del servizio del trasporto pubblico locale ed il miglioramento dei livelli qualitativi, al fine di ridurre la frammentazione dell’offerta e riequilibrare l’assetto a livello di sistema.

Infine per quanto ottiene al trasporto marittimo le azioni conseguenti agli obiettivi generali e specifici riguardano la creazione di “sistemi portuali” e, con riferimento al contesto, del sistema portuale Jonico siciliano, caratterizzato dai porti di Catania ed Augusta.

6.2. Strategie prioritarie di intervento e criticità

All'individuazione degli obiettivi e delle azioni condivise per un nuovo assetto della mobilità fa seguito una puntuale e dettagliata analisi dell'attuale assetto del sistema dei trasporti, condotta per “settori” ma secondo una visione sistemica.

Questa ha riguardato la rete del trasporto privato e quella del trasporto pubblico, particolareggiando quest'ultima con riferimento al sistema ferroviario ed al Trasporto Pubblico Locale extraurbano su gomma (TPL).

Da questa fase di analisi discende la definizione delle strategie prioritarie di intervento e delle criticità, cui fa seguito la caratterizzazione delle azioni di Piano.

Le strategie suddette possono riassumersi nella razionalizzazione del funzionamento complessivo della mobilità mediante la costruzione di una rete multimodale caratterizzata da: differenti livelli di funzionamento della rete stradale attraverso la gerarchizzazione delle funzioni che ciascuna strada assolve, un differente modello di funzionamento della rete ferroviaria caratterizzato da nuovi servizi con interventi sia infrastrutturali che di esercizio, riorganizzazione del TPL.

Riassumendo, le criticità emerse dall'analisi del sistema dei trasporti della provincia di Siracusa riguardano (v. Tavola 2 in allegato):

- l'accessibilità del capoluogo;
- il collegamento delle direttrici CT Caltagirone – CT Ragusa;
- il collegamento tra i presidi ospedalieri di Noto ed Avola;
- l'accessibilità all'infrastruttura autostradale;
- il ruolo della mobilità ciclistica con riferimento all'accessibilità al mare e la fruizione delle Riserve Naturali Orientate;
- la portualità turistica;
- il trasporto marittimo ed il porto di Augusta;
- l'organizzazione del Trasporto Pubblico Locale extraurbano su gomma.

Si osserva che le criticità individuate con riferimento alle due modalità di trasporto su gomma e su ferro, attengono sia al funzionamento della rete stradale e cioè ad evidenti anomalie del deflusso veicolare (accessibilità al capoluogo e accessibilità all'infrastruttura autostradale, alla costa ed al mare) che alla necessità di supportare lo sviluppo territoriale mediante il sistema dei trasporti, (collegamento direttrici Catania-Caltagirone e Catania-Ragusa, collegamento tra presidi ospedalieri, collegamento con il territorio ragusano e l'aeroporto di Comiso, collegamento ferroviario con l'aeroporto Fontanarossa di Catania, collegamento ferroviario con il porto di Augusta).

Dall'esame di queste criticità ha origine la definizione delle azioni di Piano attraverso le quali, complessivamente, si perviene al progetto del sistema multimodale dei trasporti della provincia di Siracusa, riportato nella Tavola 3 allegata.

Poiché la parte applicativa della presente ricerca focalizza solo sul trasporto privato, verranno ora esaminate nel dettaglio le azioni che attengono specificatamente a tale ambito.

6.3. Azioni di Piano relative al trasporto privato

Con riferimento a tale elemento del sistema dei trasporti, questo viene direttamente interessato da interventi realizzati sul sistema viario; questi sono evidenziati in rosso nella Tavola 3 relativa al "Progetto della rete multimodale dei trasporti" e sono stati definiti in modo da risolvere le criticità prima riportate che attengono a tale ambito.

Osservando tale immagine si osserva che questi interventi riguardano nel dettaglio:

- il collegamento viario tra la SS194 Ragusana e le SS385 e SS417 lungo la SP 16;
- la riqualificazione della SS 194;
- la riqualificazione del collegamento tra Brucoli e la SS 193 lungo la SP 65;
- il collegamento tra l'Autostrada e la città di Siracusa lungo la SS 124;
- il collegamento Cassibile-Carrozziere lungo la SP 104;
- il collegamento Noto-Avola lungo la SP 15;
- il collegamento Noto-Palazzolo lungo la SP 24;

- il collegamento da Palazzolo verso la parte nord-ovest della provincia di Ragusa lungo la SP 23;
- il collegamento Rosolini-Pachino lungo la SP 26;
- il “Nodo di Noto”;
- la realizzazione di azioni integrate per l’accessibilità al capoluogo.

Molte di queste azioni riguardano la risoluzione di incongruenze funzionali tra le caratteristiche geometriche della piattaforma stradale e la funzione che la strada stessa svolge all’interno della rete viaria, come meglio spiegato di seguito.

Le infrastrutture stradali vengono schematizzate come un insieme di *reti* composte da archi (strade) e nodi (intersezioni tra strade). In accordo con la Normativa vigente⁷⁹ le reti (e di conseguenza le strade che vi fanno parte) vengono funzionalmente classificate secondo quattro fattori:

- il tipo di movimento servito, che può essere di transito, di distribuzione, di penetrazione, di accesso;
- l’entità dello spostamento, legata alla distanza mediamente percorsa dai veicoli;
- la funzione assunta nel contesto territoriale attraversato, ovvero il tipo di collegamento nazionale, interregionale, provinciale, locale;
- le componenti di traffico ammesse (veicoli leggeri, veicoli pesanti, motoveicoli, pedoni, ecc.).

Sulla base di queste, una rete può essere classificata come primaria, principale, secondaria e locale. La normativa prevede inoltre che per ogni tipo di rete vi siano delle precise caratteristiche geometriche delle infrastrutture, così che queste risultino adeguate al ruolo che rivestono all’interno della rete stessa.

Nella fase di analisi, come riportato nel documento, sono state esaminate le infrastrutture appartenenti alle reti primaria, principale e secondaria tralasciando quelle locali; nello studio sono state rilevate appunto numerose incongruenze tra le caratteristiche funzionali e quelle geometriche delle strade che ricadono nel territorio provinciale e appartenenti alle reti primaria, principale e secondaria.

⁷⁹ “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade” - D.M. 05/11/2001

Tali incongruenze sono state definite di primo e secondo livello, a seconda che l'inadeguatezza della piattaforma stradale sia accompagnata da elevati parametri di deflusso (cioè volumi di traffico e tempi di percorrenza) e valutazioni positive di importanza strategica sul ruolo svolto dalla strada nel contesto della mobilità complessiva oppure no.

Pertanto molte delle azioni prima elencate prevedono la riqualificazione e l'adeguamento di collegamenti viari proprio al fine di risolvere tali elementi di criticità; tali azioni si traducono in interventi infrastrutturali di adeguamento della piattaforma stradale in modo che questa assuma, dal punto di vista della geometria della sezione, le caratteristiche che le competono in accordo col tipo di rete a cui la strada appartiene.

Tali interventi di natura infrastrutturale per la risoluzione delle incongruenze funzionali producono come effetti diretti l'aumento della capacità e della velocità media, con conseguente riduzione dei tempi di spostamento, nonché l'incremento dei livelli di sicurezza.

Nello specifico gli interventi sulla viabilità prevedono:

- l'adeguamento della piattaforma della SP 16 ad una sezione di strada extraurbana tipo C2 nel tratto di collegamento tra la SS194 Ragusana e le SS385-SS417;
- la realizzazione di quanto in progetto da parte dell'Anas che prevede per la SS 194 il raddoppio della sezione trasversale del tratto dallo svincolo di Lentini all'intersezione con la SS514, con adeguamento a strada extraurbana principale con due corsie per senso di marcia su carreggiate separate (tipo B);
- la riqualificazione della SP 65 nel tratto tra Brucoli e la SS 193 attraverso l'adeguamento della piattaforma a strada extraurbana tipo C2;
- l'adeguamento del collegamento tra l'Autostrada e la città di Siracusa lungo la SS 124 mediante il miglioramento funzionale della piattaforma al tipo C2;
- la riqualificazione del collegamento Cassibile-Carrozziere lungo la SP 104 attraverso l'omogeneizzazione della piattaforma al tipo C1;
- la riprogettazione del collegamento Noto-Avola lungo la SP 15 a strada extraurbana secondaria di tipo C1;
- l'adeguamento della SP 24 nel tratto di collegamento tra Noto e Palazzolo con una piattaforma di tipo C2;

- la riqualificazione del collegamento in direzione est-ovest tra Palazzolo e la parte nord-ovest della provincia di Ragusa mediante il miglioramento funzionale della SP 23 al tipo C2;
- l'omogeneizzazione della piattaforma della SP 26 al tipo C2 nel tratto di collegamento Rosolini-Pachino.

Oltre a questo primo insieme di azioni tendenti al miglioramento della rete attraverso la correzione delle incongruenze funzionali prima esposte, il documento in esame prevede altri due sostanziali interventi sul sistema viario riguardanti l'accessibilità a Siracusa e il cosiddetto "Nodo di Noto".

Per quanto attiene al miglioramento dell'accessibilità al capoluogo, questo verrà conseguito attraverso una serie di interventi integrati (Fig. 65) che comprendono: la realizzazione di parcheggi scambiatori in corrispondenza delle stazioni di trasporto pubblico su ferro e gomma (Targia, Brugaletta, Pantanelli), l'introduzione di un sistema trasporto pubblico di Bus rapid transit (BRT) e la realizzazione della Parkway di distribuzione.

Quest'ultimo intervento riguarda direttamente il sistema viario e prevede la costruzione di una nuova arteria stradale che si atesta a nord a partire dall'intersezione con la SS124, poi si muove verso sud intersecando la SP 14 e termina in corrispondenza della SS115.

La nuova arteria stradale così definita ha il compito di migliorare l'accessibilità a Siracusa mediante la distribuzione dei flussi in ingresso/uscita da capoluogo. Allo stato attuale infatti le tre direttrici Nord (SP114), Ovest (SS 124 e SP 14) e Sud (SS 115) entrano direttamente all'interno della città abitata, senza opportunità di scambio con altre strade di pari funzionalità, e loro i flussi veicolari assumono valori tali, soprattutto nelle ore di punta, da generare fenomeni di congestione.

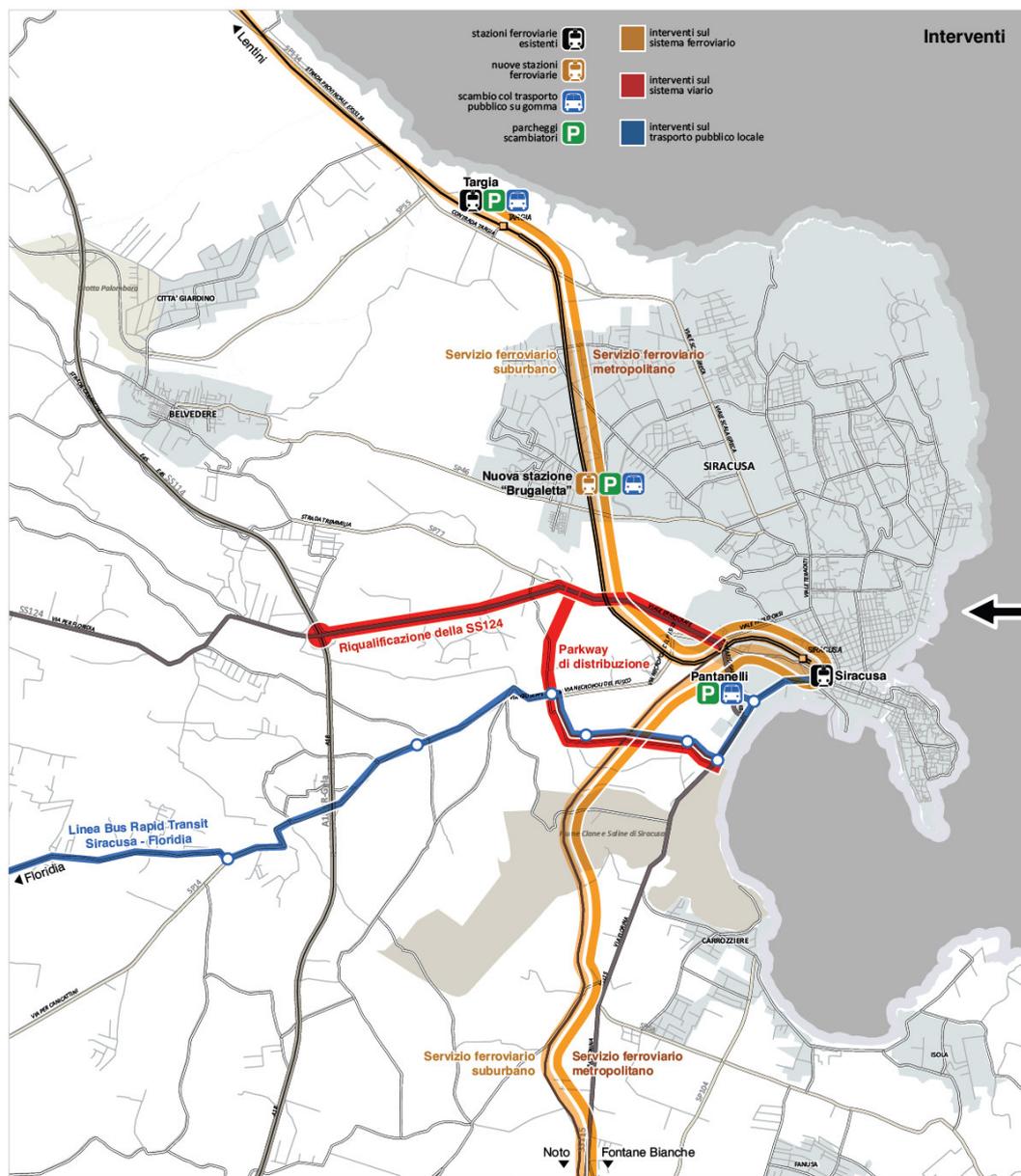


Fig. 65 - Interventi per il miglioramento dell'accessibilità a Siracusa (Provincia Regionale di Siracusa, 2010)

L'ultima azione riguarda il cosiddetto "Nodo di Noto" che è attualmente interessato da interventi previsti dall'Amministrazione Provinciale e dal Consorzio Autostrade Siciliane (Ente che ha in concessione la realizzazione e la gestione dell'autostrada Siracusa-Gela).

Il nodo in questione ha un ruolo di cerniera del sistema viario che è interessato dal volume di traffico relativo a Noto, da quello di transito nelle direzioni Siracusa – Pachino – Rosolini – Portopalo ed Avola – Noto Marina –

Calabernardo, e anche dai flussi derivanti dalla presenza dello svincolo autostradale.

L'obiettivo dei progetti (già in fase esecutiva) è di accrescere il livello di sicurezza e nel contempo di ridurre i tempi di percorrenza degli utenti che si spostano tra due dei più importanti centri attrattori di mobilità: Noto e Pachino.

Nello specifico, il Piano Provinciale di Riqualificazione della rete viaria secondaria prevede la realizzazione di 5 rotatorie delle quali 4 sono collegate tra loro e regolano il traffico veicolare nell'area in esame, così come riportato in Fig. 66.

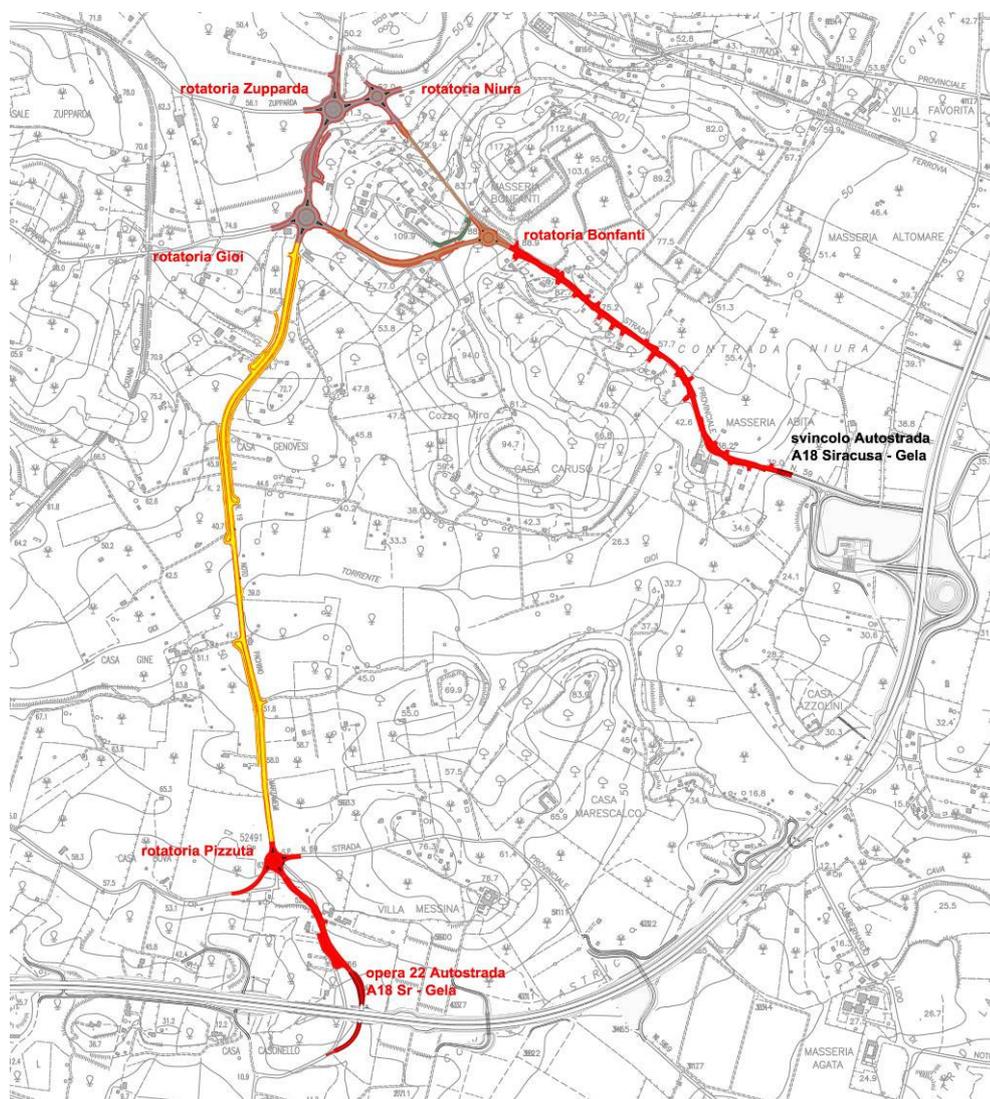


Fig. 66 - Interventi progettato nell'ambito del Piano Provinciale di Riqualificazione della rete viaria secondaria

L'altro intervento, previsto dal Consorzio Autostrade Siciliane riguarda la realizzazione di un asse viario di connessione dello svincolo autostradale di Noto con la SP 19, al fine di permettere un più veloce collegamento tra lo svincolo autostradale ed i territori di Pachino, Portopalo, Marzamemi.

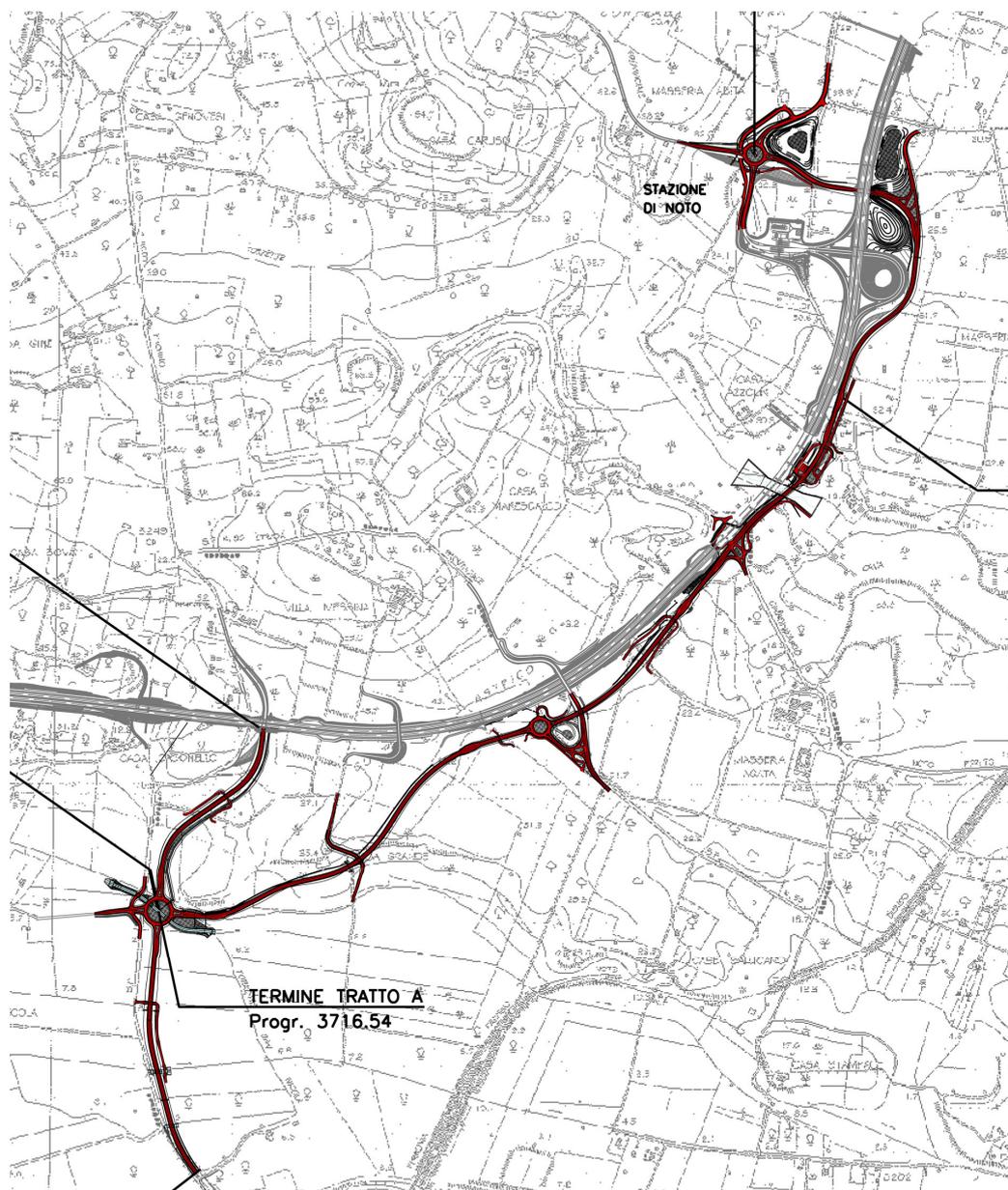


Fig. 67 - Intervento progettato dal Consorzio Autostrade Siciliane

7. Simulazione dello scenario di progetto

Con la duplice finalità di valutare l'effetto degli interventi fin qui descritti sulla accessibilità utilizzando una misura ampiamente diffusa in letteratura (del tipo *location-based*) e di esaminare il comportamento degli indici Place Rank (nella versione originale e in quella modificata in questa sede) e delle misure di centralità nel confronto tra lo scenario attuale e quello di progetto, nell'ambito della presente ricerca si è proceduto alla simulazione di quest'ultimo.

Nel dettaglio è stata modificata la rete viaria introducendo gli interventi infrastrutturali e le realizzazioni di nuove arterie così come previsti nel documento "Analisi e Progetto del Sistema dei Trasporti nella Provincia di Siracusa". In tal modo si è modificata l'offerta di trasporto con il mezzo privato. Si è proseguito poi, utilizzando il software Visum di simulazione delle reti di trasporto, a rappresentare l'interazione tra la domanda e l'offerta di trasporto mediante una nuova procedura di assegnazione dei flussi di domanda (rimasti invariati) sulla rete, i cui *output* sono le matrici di indicatori quali le distanze e soprattutto i tempi di percorrenza, sia "a vuoto" che a rete "carica".

Gli effetti degli interventi progettati si sono tradotti quindi in variazioni dei tempi di percorrenza; a loro volta questi influiscono sugli indici di accessibilità e centralità *sensibili* al costo generalizzato di trasporto (sempre è assunto pari al tempi di percorrenza a rete carica).

Si osserva infatti che non tutte le misure utilizzate per analizzare lo stato di fatto ai Paragrafi 2 e 3 del presente Capitolo sono sensibili all'*impedenza* legata allo spostamento, in particolare lo sono solo gli indici: *potential accessibility* (sia attiva che passiva), il Place&Time Rank, e la *closeness centrality* calcolata utilizzando il grafo pesato in cui gli archi sono caratterizzati o dalla distanza o dal tempo di percorrenza.

Dunque le altre misure già utilizzate (Place Rank, *degree* e *betweenness centrality*) assumono per lo stato di progetto gli stessi valori dello stato di fatto e quindi anche le relative mappe risultano invariate rispetto alle precedenti.

Quindi si è proceduto, per le misure *time/cost sensitive*, al calcolo dei valori di accessibilità e centralità relativi allo scenario di progetto e di seguito riportati.

Tabella 21 – Valori degli indici di accessibilità attiva e passiva dello stato di progetto calcolati mediante un indice del tipo *location-based*

ZONA	Accessibilità Passiva	Accessibilità Attiva
AUGUSTA	221,29	113,64
AVOLA	258,44	133,29
BUCCHERI	228,42	108,70
BUSCEMI	243,68	118,79
CANICATTINI BAGNI	230,40	111,65
CARLENTINI	246,28	124,74
CASSARO	235,13	113,57
FERLA	226,25	107,33
FLORIDIA	261,47	134,11
FRANCOFONTE	251,78	124,90
LENTINI	267,57	139,14
MELILLI	228,09	115,64
NOTO	232,57	117,35
PACHINO	184,66	88,39
PALAZZOLO ACREIDE	217,83	105,89
ROSOLINI	217,49	107,83
SIRACUSA	241,97	126,29
SOLARINO	277,08	143,47
SORTINO	233,99	114,95
PORTOPALO DI CAPO PASSERO	147,65	67,23
PRIOLO GARGALLO	263,05	139,64

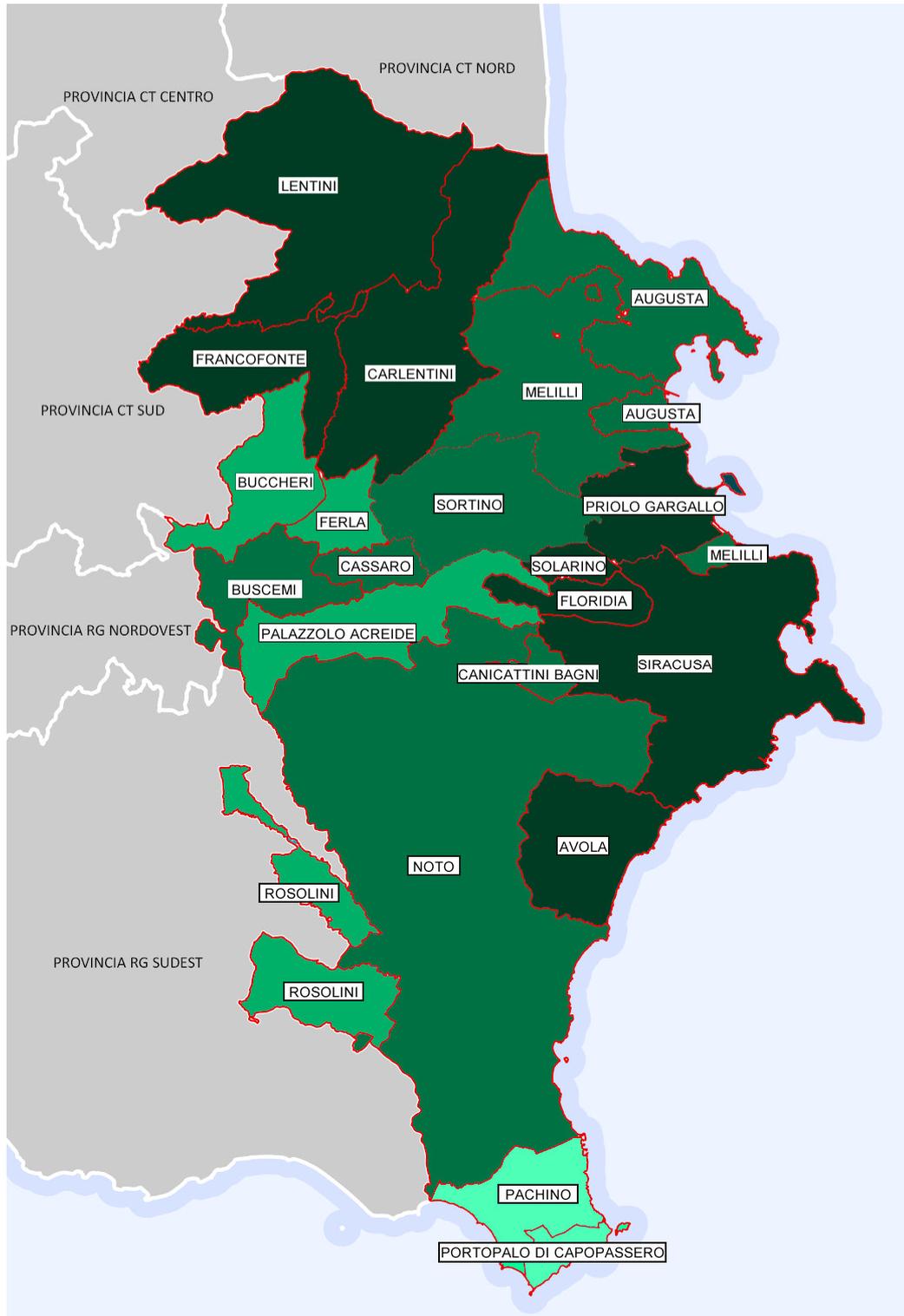


Fig. 68 - Mappa di *accessibilità attiva* dello stato di progetto

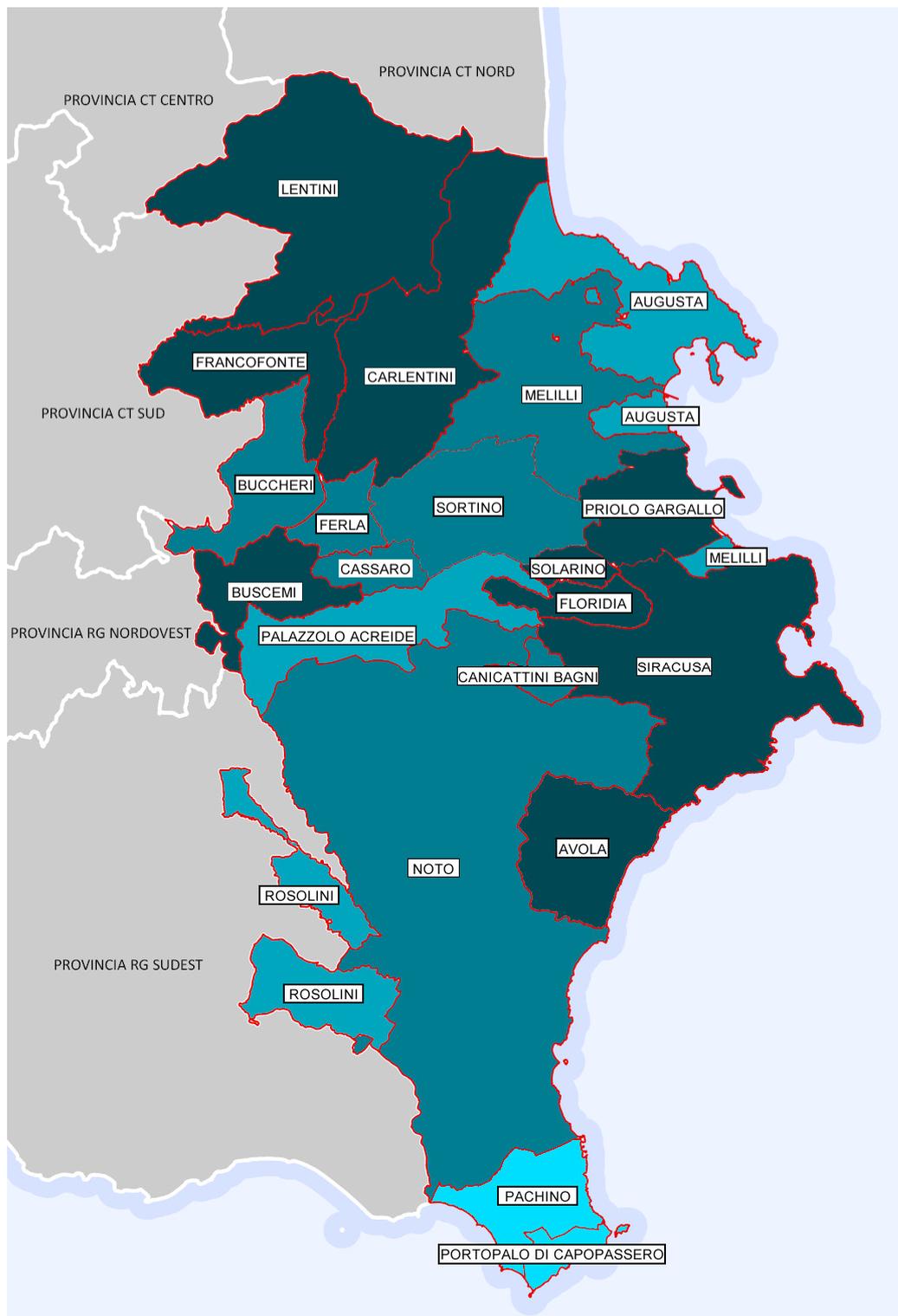


Fig. 69 - Mappa di *accessibilità passiva* dello stato di progetto

Tabella 22 – Valori degli indici di accessibilità dello stato di progetto calcolati secondo il metodo Place&Time Rank

Zona	Accessibilità Place&Time Rank
AUGUSTA	3733,1
AVOLA	253
BUCCHERI	23
BUSCEMI	11
CANICATTINI BAGNI	91
CARLENTINI	482
CASSARO	17
FERLA	13
FLORIDIA	403
FRANCOFONTE	108
LENTINI	668
MELILLI	2425
NOTO	446
PACHINO	330
PALAZZOLO ACREIDE	155
ROSOLINI	114
SIRACUSA	5576
SOLARINO	83
SORTINO	95
PORTOPALO DI CAPO PASSERO	164
PRIOLO GARGALLO	5081

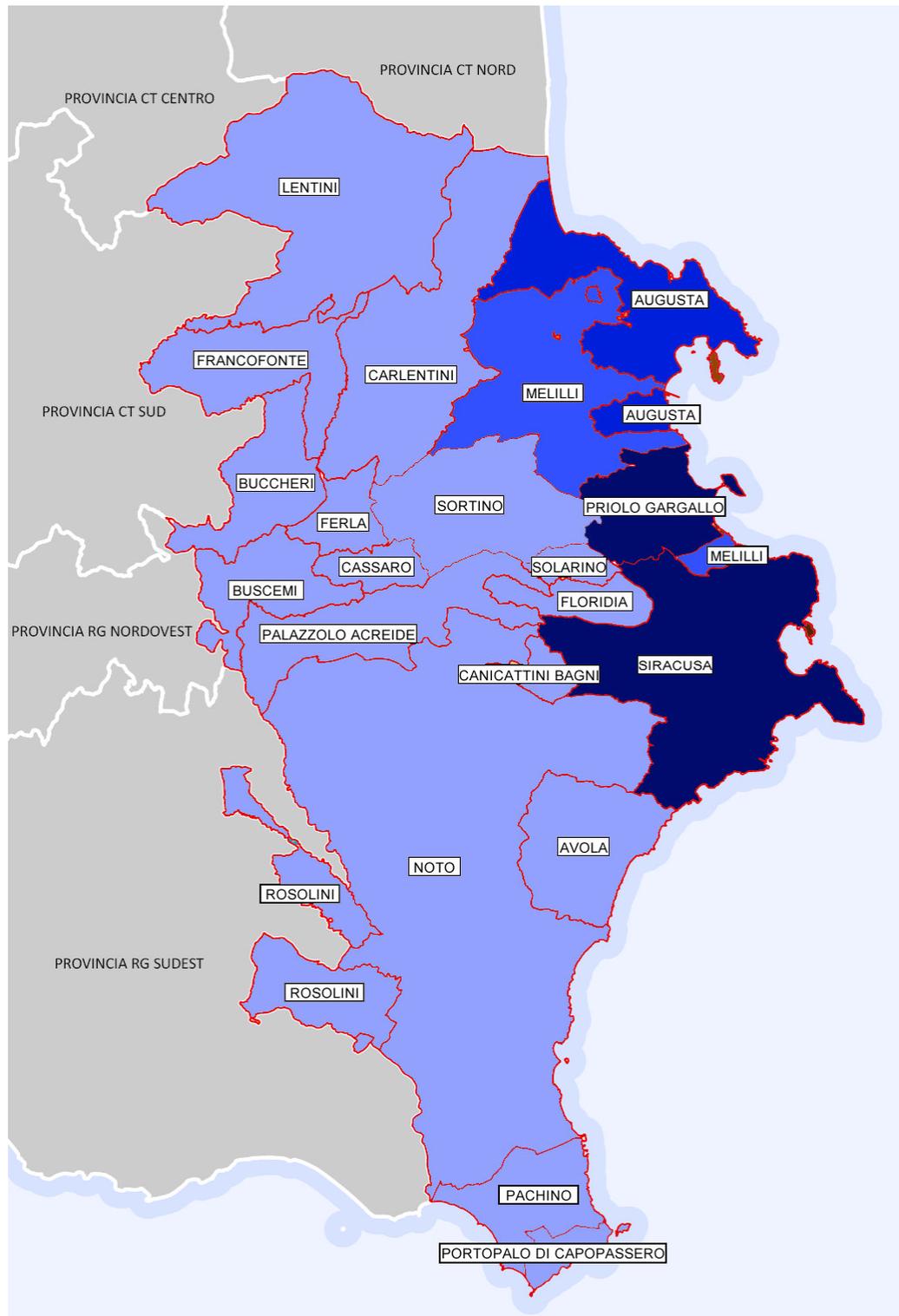


Fig. 70 - Mappa di *accessibilità Place&Time Rank* dello stato di progetto

Tabella 23 – Valori di *closeness centrality* dello stato di progetto

ZONA	C^{Ct}	C^{Cd}
AUGUSTA	0,0220	0,000017
AVOLA	0,0260	0,000019
BUCCHERI	0,0251	0,000021
BUSCEMI	0,0269	0,000022
CANICATTINI BAGNI	0,0250	0,000022
CARLENTINI	0,0243	0,000019
CASSARO	0,0262	0,000023
FERLA	0,0253	0,000024
FLORIDIA	0,0274	0,000021
FRANCOFONTE	0,0252	0,000018
LENTINI	0,0261	0,000019
MELILLI	0,0235	0,000019
NOTO	0,0237	0,000018
PACHINO	0,0188	0,000013
PALAZZOLO ACREIDE	0,0240	0,000021
ROSOLINI	0,0216	0,000015
SIRACUSA	0,0236	0,000019
SOLARINO	0,0296	0,000022
SORTINO	0,0251	0,000022
PORTOPALO DI CAPO PASSERO	0,0163	0,000012
PRIOLO GARGALLO	0,0267	0,000021

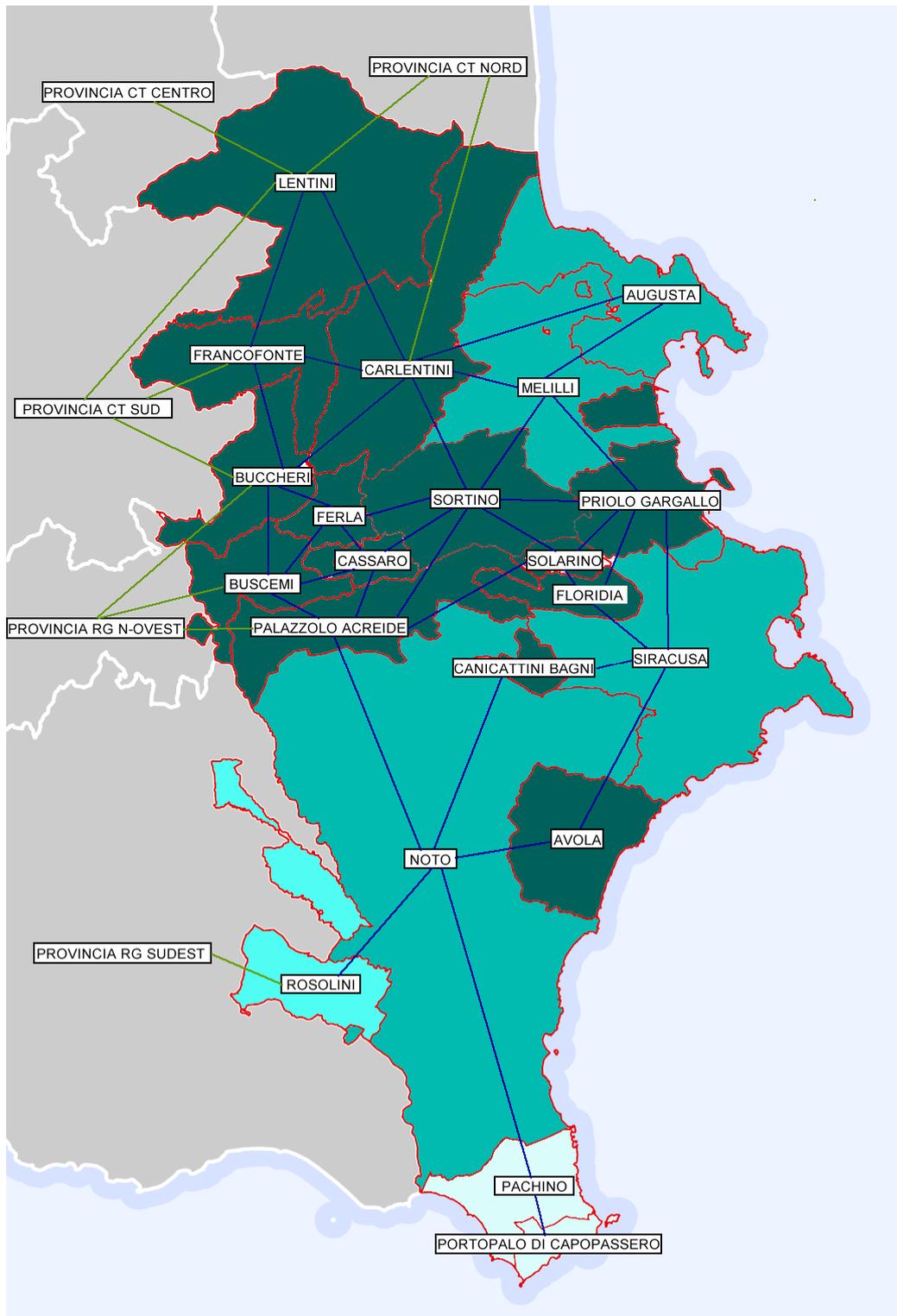


Fig. 71 - Mappa di closeness centrality dello stato di progetto (pesata sul tempo)

8. Confronto tra gli scenari

Comparando i risultati ottenuti dalle analisi di accessibilità e centralità con riferimento agli scenari di fatto e di progetto, emergono alcune variazioni dei valori assunti dalle zone rappresentative dei comuni della provincia di Siracusa.

In particolare per quanto attiene all'accessibilità attiva, questa aumenta per tutte le zone ed in particolar modo per: Solarino, Priolo Gargallo, Lentini, Florida, Avola, Francofonte, Carlentini, Palazzolo Acreide. Tenendo conto degli intervalli cromatici utilizzati nella mappa, le zone che subiscono un salto di scala sono: Lentini, Siracusa, Francofonte, Carlentini, Melilli, Augusta, Canicattini Bagni.

Anche per l'accessibilità passiva si evidenzia un miglioramento generalizzato, soprattutto per: Solarino, Lentini, Priolo Gargallo, Florida, Avola, Francofonte, Rosolini. Le zone che nello stato di progetto vengono evidenziate con una tonalità più scura, indice di migliori caratteristiche di accessibilità, sono: Lentini, Priolo Gargallo, Francofonte, Carlentini, Buscemi, Siracusa, Noto, Canicattini Bagni, Melilli, Augusta.

Si evince quindi che le azioni pianificate producono effettivamente un miglioramento di accessibilità delle zone della provincia di Siracusa, soprattutto se queste sono direttamente interessate dagli interventi.

In merito alle valutazioni condotte con l'indice Place&Time Rank, il confronto tra lo stato di fatto e di progetto fornisce dati incongruenti poiché per alcune zone si ha una crescita del valore, in specie per Siracusa, Priolo Gargallo, Melilli, mentre in altri casi si registra un peggioramento di accessibilità, soprattutto per Augusta, Lentini, Carlentini. Ciò è palesemente in contrasto con gli obiettivi degli interventi ed anche con i risultati forniti mediante l'analisi tradizionale condotta con la misura tipo *location-based*. Questo fatto conferma l'inadeguatezza della misura a valutare l'accessibilità; nonostante ciò si evidenzia comunque che la versione modificata, rispetto all'originale, varia al variare dell'impedenza, seppur in maniera non coerente con gli altri risultati. Tuttavia queste variazioni sono così modeste da non generare modifiche rispetto alla mappa relativa allo scenario attuale (Fig. 59 e Fig. 70).

Con riferimento alla *closeness centrality* misurata pesando gli archi del grafo semplificato in funzione del tempo di percorrenza, si osserva un generalizzato aumento della centralità, soprattutto per le zone rappresentative di: Augusta,

Avola, Florida, Francofonte, Lentini, Siracusa, Solarino. Quelle che nella mappa dello scenario futuro sono caratterizzate da un tono diverso sono: Augusta, Lentini, Francofonte, Carlentini.

Considerando invece la *closeness* calcolata sulla base delle distanze, i valori caratterizzanti lo stato di progetto non sono tutti maggiori rispetto a quello dello scenario attuale, ovvero per alcune zone si ha un miglioramento mentre per altre un peggioramento di centralità. Ciò è dovuto al fatto che la presenza di nuove arterie può far aumentare le distanze ma, per effetto della diversa distribuzione flussi veicolari sulla rete viaria, i tempi di percorrenza sono minori; questo fatto è confermato dai risultati prima esaminati in merito alla *closeness* valutata in funzione dei tempi.

In merito all'utilità delle analisi condotte si può concludere che queste si sono rivelate valide nelle duplici fasi in cui sono state effettuate.

Infatti nella fase di progetto queste hanno fornito un riscontro oggettivo relativo alla carenza di accessibilità che può risultare efficace a supporto delle scelte effettuate nell'ambito del Piano, che invece si fondano su una profonda conoscenza e studio del territorio e non sempre sulla valutazione di elementi quantificati.

Poi nella fase di verifica della coerenza degli interventi pianificati con gli obiettivi preposti, è risultato utile accertare che le azioni simulate producono realmente un aumento di accessibilità e quindi provano a risolvere alcune criticità del territorio legate ai trasporti.

Conclusioni

È ormai indiscusso che le dinamiche territoriali sono direttamente connesse al sistema dei trasporti, data la stretta interrelazione tra i due sistemi. Pertanto al fine di garantire un sostenibile assetto del territorio è essenziale integrare realmente la pianificazione territoriale con quella dei trasporti; ciò implica sia la necessità di approcci maggiormente collaborativi ma anche l'utilizzo di metodi rivolti ad una forma di coordinazione tra le strategie di *land-use* e quelle trasportistiche: in tal modo è possibile raggiungere concretamente gli obiettivi posti, superando il vincolo spesso restrittivo della pianificazione per settori.

Per analizzare lo stato attuale oppure simulare lo stato futuro sono da tempo disponibili strumenti analitici in grado di rappresentare le relazioni dinamiche tra le trasformazioni del territorio e quelle dei trasporti, quindi utili per simulare gli effetti di variazioni del sistema di trasporto sul territorio e viceversa. Per tale ragione i modelli di interazione trasporti-territorio possono utilizzarsi a supporto del processo decisionale nell'ambito della pianificazione. Spesso però tali strumenti non esplicitano direttamente la valutazione di un elemento che invece si ritiene fondamentale: l'*accessibilità*; questa condiziona la relazione bidirezionale tra trasporti ed uso del suolo, infatti la sua misurazione dipende dall'interazione tra le performance dei trasporti e quelle del sistema delle attività. Per di più i modelli trasportistici generalmente fondano le loro elaborazioni sulla garanzia della mobilità piuttosto che dell'*accessibilità*, con preoccupanti ripercussioni sul territorio.

Per tali ragioni in questa sede è proposto l'uso di un approccio alternativo a quello classico dei modelli di interazione trasporti-territorio, anche se molto più semplificato, fondato sulla valutazione dell'*accessibilità*; quest'ultima infatti può essere utilizzata come indicatore sintetico del livello di organizzazione del territorio poiché elemento di connessione tra il sistema delle attività con quello dei trasporti. Si considera dunque l'analisi di *accessibilità* uno strumento di

esame di un sistema territoriale, anche perché questa consente di esprimere il grado di connessione di un'area rispetto all'ambiente circostante.

D'altra parte però l'accessibilità non è di immediata determinazione poiché essa non è univocamente definita; sono numerose infatti in letteratura le sue caratterizzazioni, sia concettuali che in termini di formulazioni matematiche, a seconda della *perspective* considerata per la sua definizione. Ciò però consente di scegliere il tipo di accessibilità che si ritiene maggiormente idoneo all'analisi da condurre. Quindi sono state esaminate le principali misure di accessibilità presenti in letteratura ed a queste se ne è aggiunta una di recente formulazione, denominata Place Rank; l'esame di questa nell'ambito della presente ricerca ha suscitato alcune notazioni critiche che hanno aperto prospettive per il miglioramento di tale indice. Infatti ne è stata proposta una versione variata, chiamata Place&Time Rank, ottenuta apportando alcune modifiche alla formulazione originale.

Si è osservato poi che l'accessibilità condivide molte analogie con la nozione di *centralità*, anch'essa avente molteplici accezioni; inoltre di recente è stato definito un metodo di analisi spaziale, denominato *Multiple Centrality Assessment* mediante il quale sono state studiate le correlazioni tra centralità e struttura funzionale della città.

Giunti a questo punto della ricerca si è ritenuto utile effettuare una analisi di accessibilità e centralità su un caso concreto, che è stato scelto nella provincia di Siracusa considerando la condizione favorevole della corrente redazione del Piano Territoriale Provinciale. Questo costituisce un'ottima occasione di confronto poiché, pur non trattandosi di un piano specificatamente trasportistico, è stato redatto integrando in maniera efficace la pianificazione del territorio con quella dei trasporti e della mobilità nell'area di studio. Pertanto, dopo aver esaminato i contenuti del Piano, sono stati approfonditi quelli legati ai trasporti: lo stato attuale, gli obiettivi e le azioni previste dal piano. Si è scelto quindi di confrontare gli interventi sul sistema dei trasporti a supporto della pianificazione territoriale definiti nel Piano con le criticità risultanti dalle analisi di accessibilità e centralità.

L'esame è stato condotto, con riferimento al solo trasporto privato, in due distinte fasi: la prima relativa allo stato di fatto, cioè determinando i valori attuali delle misure, mentre la seconda afferisce allo stato di progetto e riguarda la valutazione degli indici a seguito della realizzazione degli interventi previsti.

Pertanto si è proceduto, per lo stato attuale, ad eseguire l'analisi del caso in esame considerando tre diverse misure di accessibilità e tre di centralità: una *potential accessibility*, il Place Rank ed il Place&Time Rank, così come *degree*, *closeness* e *betweenness centrality*. Queste elaborazioni hanno prodotto i valori attuali caratteristici delle zone della provincia di Siracusa, calcolati con le diverse metodologie, sulla base dei quali sono state prodotte le relative mappe di accessibilità e centralità.

Il confronto tra gli indici utilizzati è stato produttivo poiché ha permesso di identificare le metodologie che forniscono risultati coerenti con le altre. Si osserva a questo punto che sia la versione originale della nuova misura di accessibilità Place Rank, che quella modificata in questa sede e denominata Place&Time Rank risultano fortemente correlate solo tra loro ma non con gli altri indici di accessibilità adoperati; tuttavia sono moderatamente relazionate con la *betweenness centrality*. Ciò ha invitato a riflettere sul fatto che il Place Rank sia propriamente una misura di accessibilità; in effetti questo è calcolato a partire dai tipici dati di input di una *accessibility measure*, e cioè la domanda di trasporto nella versione originale ed anche i tempi di spostamento in quella modificata. D'altra parte però i risultati di output e le affinità concettuali con la *eigenvector centrality* rendono tale misura per certi versi assimilabile ad un tipo di centralità, nonostante sia indipendente dalla topologia della rete. Questa duplicità non ha permesso di inquadrare esattamente il Place Rank né come misura di accessibilità né di centralità.

Oltre al confronto metodologico tra i diversi approcci utilizzati, condotto per confrontare le caratterizzazioni di ogni zona in base ai vari indici, è stato fondamentale focalizzare l'attenzione sulle singole zone ed analizzare i risultati assumendo come prospettiva la valutazione ottenuta. Da questa sono emerse le criticità del territorio, intese come carenza di accessibilità e centralità, che sono state confrontate con le azioni previste nell'ambito del Piano in modo da verificarne la coerenza. In effetti da tale comparazione sono emersi numerosi elementi di convergenza; da ciò si deduce che le analisi accessibilità e centralità sono strumenti utili per lo studio di un territorio in relazione con i trasporti.

L'applicazione condotta con riferimento allo scenario di progetto ha previsto innanzitutto la simulazione della realizzazione degli interventi previsti nel successivo Piano di settore dei trasporti e della viabilità nell'ambito del PTP, nonché Piano direttore del Piano provinciale dei trasporti e della mobilità. Tali

interventi, per quanto attiene al trasporto privato, riguardano l'adeguamento di numerosi collegamenti viari e la realizzazione di due nuove arterie, e si sono tradotti in una riduzione dei tempi di percorrenza. A seguito di questa simulazione è stata riproposta l'analisi di accessibilità e centralità, determinando l'identificazione di quelle misure che sono sensibili alla variazione dei costi di trasporto, intesi come tempi di spostamento. Infatti solo tre delle sei misure già adoperate hanno fornito valori dello scenario di progetto differenti da quello attuale e queste sono la *potential accessibility*, il Place&Time Rank e la *closeness centrality*.

L'applicazione condotta ha permesso al Place&Time Rank di mostrare le sue peculiarità rispetto alla versione originale; infatti confrontando la situazione attuale con quella di progetto caratterizzata da interventi di tipo infrastrutturale nel settore dei trasporti, l'indice Place Rank ha fornito la stessa valutazione (attuale e futura), al contrario della versione modificata Place&Time Rank, che invece è funzione del costo generalizzato di trasporto.

Si sottolinea tuttavia che, nonostante la modifica funzionale nella formulazione dell'indice, i risultati forniti dal Place Rank in entrambe le versioni non sono coerenti con quelli delle altre misure né con gli effetti degli interventi previsti. Ciò conferma l'ambiguità di tale misura, come già emerso nella valutazione dello stato di fatto.

Le altre misure *time/cost sensitive* invece confermano che gli interventi pianificati per la risoluzione delle criticità producono, in effetti, un miglioramento dei valori di accessibilità e *closeness* valutata sulla base dei tempi di percorrenza.

Dalle analisi condotte si può dedurre che, in generale, accessibilità e centralità sono misure utili per analizzare un territorio in relazione ai trasporti. Grazie alla loro valutazione infatti è possibile dare un riscontro oggettivo alle considerazioni che invece emergono dalla conoscenza e dallo studio del caso così avere a disposizione elementi quantificati a supporto delle decisioni nei processi di pianificazione.

Si puntualizza inoltre che l'accessibilità può avere una numerose valenze: nell'analisi delle condizioni attuali può essere intesa come una misura del livello di organizzazione del territorio nel suo complesso; in fase di progetto può considerarsi l'obiettivo della pianificazione integrata e quindi la sua misurazione, nelle molteplici accezioni esistenti, può orientare la definizione gli interventi;

infine in fase di verifica di quanto pianificato può dare una quantificazione degli effetti degli interventi.

La determinazione delle centralità è utile per valutare le sue correlazioni con la struttura funzionale del territorio, anche in considerazione delle diverse tipologie di misura.

Inoltre la centralità può essere impiegata per valutare vulnerabilità e resistenza delle *reti*, intese nell'accezione più ampia del termine, ad esempio simulando avarie o attacchi mirati verso particolari elementi del *network* ed identificando i nodi nevralgici.

Sarebbe interessante esaminare più accuratamente la relazione tra accessibilità e centralità, in particolar modo riferendosi a reti reali e non ad un grafo semplificato come nel presente studio, al fine di studiare le reciproche corrispondenze e determinare eventuali legami.

Anche l'ulteriore approfondimento della misura Place Rank, in entrambe le formulazioni, da testare su un altro caso studio in modo da definire in maniera più precisa la tipologia di misura, così come lo studio di ulteriori modifiche da apportare alla metodologia elaborata, appaiono interessanti ambiti di studio.

Infine è ragionevole pensare ad ulteriori miglioramenti che possono essere apportati anche alle misure di accessibilità diffuse in letteratura. In particolare, per migliorare la formulazione di una misura di accessibilità si dovrebbe tener conto e valutare la presenza di più modalità di trasporto che collegano le zone, poiché è facilmente intuibile che una zona è da ritenersi più accessibile se può essere raggiunta con diversi modi di trasporto piuttosto che con uno solo.

Da queste riflessioni possono prendere avvio ulteriori sviluppi della ricerca.

Elenco delle figure

Fig. 1 – Il ciclo trasporti-territorio

Fig. 2 - The land-use/transport feedback cycle

Fig. 3 - Schema interpretativo del sistema integrato trasporti-territorio urbano

Fig. 4 - Relazioni tra sistema dei trasporti e sistema delle attività

Fig. 5 - La walking city

Fig. 6 - La transit city

Fig. 7 - La automobile city

Fig. 8 - Evoluzione dei contorni urbani in epoche successive

Fig. 9 – Distinzione tra cooperazione, coordinazione ed integrazione delle politiche

Fig. 10 - Integrazione urbana del boulevard intercomunale del Parisis

Fig. 11 - Indicazioni per la riqualificazione dello spazio stradale

Fig. 12 - Rappresentazione dell'approccio progettuale nella conversione di un quartiere orientato all'uso dell'auto in uno volto all'uso del trasporto pubblico

Fig. 13 - Sezioni stradali tipo per il villaggio di Brentwood in California

Fig. 14 - Indicazioni sul rapporto tra insediamenti e infrastrutture di mobilità

Fig. 15 - TDA approach

Fig. 16 – Schema del processo decisionale

Fig. 17 - Schema delle relazioni tra attori e mercati nei modelli di interazione trasporti-territorio

Fig. 18 - Classificazione dei modelli ITT

Fig. 19 - Applicazione di DCSSMOD

Fig. 20 - Struttura di MEPLAN

Fig. 21 - Struttura di IRPUD

- Fig. 22 - Implementazione di DELTA
- Fig. 23 - Struttura di DELTA
- Fig. 24 - Esempi di good mobility
- Fig. 25 - Esempi di poor mobility
- Fig. 26 - Esempi di good accessibility
- Fig. 27 - Esempi di poor accessibility
- Fig. 28 - Cycle of dependence - cycle of destruction
- Fig. 29 - Accesso al trasporto pubblico
- Fig. 30 - Relazioni tra le componenti dell'accessibilità
- Fig. 31 - Potential Path Space e Potential Path Area
- Fig. 32 - Logica alla base del PageRankTM di Google
- Fig. 33 - Esempio di rete Random e Scale-free
- Fig. 34 - Esempio di rete Small World
- Fig. 35 - Esempio di degree centrality e closeness centrality
- Fig. 36 - Esempio di analisi di betweenness centrality
- Fig. 37 - Esempio di shortest path betweenness
- Fig. 38 - Esempio di flow betweenness
- Fig. 39 - Esempio di network
- Fig. 40 - Bologna: correlazioni tra centralità di betweenness e localizzazione di attività di comunità
- Fig. 41 - Roma: densità di betweenness e densità di negozi e servizi
- Fig. 42 - Cartina fisica della provincia di Siracusa
- Fig. 43 - Indicatori delle infrastrutture economiche
- Fig. 44 - Indicatori delle infrastrutture sociali
- Fig. 45 - Prima linea strategica con relativi obiettivi e azioni
- Fig. 46 - Seconda linea strategica con relativi obiettivi e azioni
- Fig. 47 - Zonizzazione della provincia di Siracusa
- Fig. 48 - Offerta di trasporto privato e pubblico su ferro nella provincia di Siracusa
- Fig. 49 - Schema di matrice origine/destinazione
- Fig. 50 - Linee di desiderio relative al trasporto privato
- Fig. 51 - Linee di desiderio relative al trasporto pubblico

- Fig. 52 - Schema logico del modello di assegnazione
- Fig. 53 - Volumi di traffico privato nella provincia di Siracusa
- Fig. 54 - Isocrona per il comune di Siracusa
- Fig. 55 - Terza linea strategica con relativi obiettivi e azioni
- Fig. 56 - Mappa di accessibilità attiva calcolata mediante un indice del tipo location-based
- Fig. 57 - Mappa di accessibilità passiva calcolata mediante un indice del tipo location-based
- Fig. 58 - Mappa di accessibilità Place Rank
- Fig. 59 - Mappa di accessibilità Place&Time Rank
- Fig. 60 - Grafo semplificato utilizzato per l'analisi di centralità della provincia di Siracusa
- Fig. 61 - Mappa di degree centrality
- Fig. 62 - Mappa di closeness centrality (calcolata in base al tempo)
- Fig. 63 - Mappa di closeness centrality (calcolata in base alla distanza)
- Fig. 64 - Mappa di betweenness centrality
- Fig. 65 - Interventi per il miglioramento dell'accessibilità a Siracusa
- Fig. 66 - Interventi progettati nell'ambito del Piano Provinciale di Riqualificazione della rete viaria secondaria
- Fig. 67 - Intervento progettato dal Consorzio Autostrade Siciliane
- Fig. 68 - Mappa di accessibilità attiva dello stato di progetto
- Fig. 69 - Mappa di accessibilità passiva dello stato di progetto
- Fig. 70 - Mappa di accessibilità Place&Time Rank dello stato di progetto
- Fig. 71 - Mappa di closeness centrality dello stato di progetto (pesata sul tempo)

Tavole allegate

Tavola 1 – Scenario strategico

Tavola 2 - Criticità e linee di sviluppo

Tavola 3 - Progetto della rete multimodale dei trasporti

Elenco delle tabelle

- Tabella 1 - Impatti teoricamente attesi sui trasporti per effetto dell'uso del territorio
- Tabella 2 - Impatti teoricamente attesi per effetto dei trasporti sull'uso del territorio e sui trasporti stessi
- Tabella 3 - Impatti dell'uso del territorio come risultato da studi empirici
- Tabella 4 - Impatti dei trasporti come risultato da studi empirici
- Tabella 5 - Approcci per lo studio delle interazioni tra città e sistemi di trasporto
- Tabella 6 – Implementazione dei dati nei modelli di interazione trasporti-territorio
- Tabella 7 – Fattori che influenzano la scelta del tipo di approccio Interaction-Location / Location-Interaction
- Tabella 8 - Principali definizioni di accessibilità
- Tabella 9 - Principali prospettive per la misura dell'accessibilità
- Tabella 10 - Valutazione delle principali misure di accessibilità
- Tabella 11 – Numero di residenti ed addetti della provincia di Siracusa nel 2001
- Tabella 12 – Valori degli indici di accessibilità attiva e passiva delle zone della provincia di Siracusa calcolata mediante un indice del tipo location-based
- Tabella 13 – Valori degli indici di accessibilità delle zone della provincia di Siracusa calcolata secondo il metodo Place Rank
- Tabella 14 – Valori degli indici di accessibilità delle zone della provincia di Siracusa calcolata secondo il metodo Place&Time Rank
- Tabella 15 – Valori di degree centrality delle zone della provincia di Siracusa
- Tabella 16 – Valori di closeness centrality delle zone della provincia di Siracusa
- Tabella 17 – Valori di betweenness centrality delle zone della provincia di Siracusa

Tabella 18 – Matrice degli shortest paths

Tabella 19 – Matrice di correlazione

Tabella 20 – Riepilogo semplificato dei risultati

Tabella 21 – Valori degli indici di accessibilità attiva e passiva dello stato di progetto calcolati mediante un indice del tipo location-based

Tabella 22 – Valori degli indici di accessibilità dello stato di progetto calcolati secondo il metodo Place&Time Rank

Tabella 23 – Valori di closeness centrality dello stato di progetto

Bibliografia

Interazione Trasporti - Territorio

1. Beimborn, E., H. Rabinowitz et al. (1991), Guidelines for Transit Sensitive Suburban Land Use Design Center for Urban Transportation Studies-University of Wisconsin-Milwaukee
2. Bernick, M. e Cervero, R. (1997), Transit Villages for the 21st Century. New York: McGraw-Hill
3. Berthalanffy L. (1968) General System Theory: Foundation, Development, Applications. Braziller, New York
4. Bertolini L. (1999) Spatial Development Patterns and Public Transport: the Application of an Analytical Model in the Netherlands, in Planning Practice and Research, 14, 2: 199-210
5. Blunden W. R. (1971) The Land-Use /Transport System: Analysis and Synthesis. Pergamon Press
6. Bresciani C. (2007), Urbanistica e mobilità: regole e innovazione, Aracne
7. Calthorpe P. (1993), The Next American Metropolis. Ecology, Community and the American Dream, Princeton Architectural Press, New York
8. Cascetta E. (1998), Teoria e metodi dell'ingegneria dei sistemi di trasporto, UTET
9. Cascetta, E. (2001) Transportation systems engineering: theory and methods, Kluwer.
10. De Luca M. (2000), Manuale di Pianificazione dei Trasporti, Franco Angeli
11. DETR, UK (1997) Road Traffic Reduction Act 1997: Draft Guidance to Local Traffic Authorities, DETR Dept of the Environment Transport and the Regions 12/99
12. DETR, UK (1998), Guidance on the New Approach to Appraisal in the planning and development of road investments proposals, Department of the Environment Transports and the Regions

13. DETR, UK (1999) Planning Policy Guidance Note 13: Transport. Department of the Environment, Transport and the Regions, October, 1999 - Consultation Paper
14. Di Giampietro G. (2000), Infrastrutture di trasporto e politiche urbanistiche, in "Urbanistica", n. 115
15. France, Loi Barnier-Dupont, Loi n. 95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement,, article 52, devenant l'article L. 111-1-4 du code de l'urbanisme
16. Francia, L. 95-101 del 2 febbraio 1995, relativo al miglioramento della protezione dell'ambiente, detta legge Barnier-Dupont, articolo 52 divenuto articolo L. 111-1-4 del codice dell'urbanistica francese, sulla progettazione delle strade extraurbane (In vigore in Francia dal 1/1/1997)
17. Gelmini P. (1988), Città, Trasporti e Ambiente, ETAS Libri
18. Hansen W.G. (1959) How accessibility shapes land use, Journal of the American Institute of Planners, 25, 73-76.
19. IHT (1994), Traffic Impact Assessment (TIA), Technical Guidelines n. 8, The Institution of Highways and Transportation, HMSO London
20. Kelbaugh D. (1997), Common Place. Toward Neighborhood and Regional Design, University of Washington Press, Seattle
21. Lautso K., Spiekermann K., Wegener M., Sheppard I., Steadman P., Martino A., Domingo R., Gayda S. (2004): PROPOLIS: Planning and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability. PROPOLIS Final Report. Helsinki: LT Consultants
22. Litman T. (2007) Land use impact on transport. TDM Encyclopedia.
23. London Department of Transport (2005) Land-use/transport interaction model, Transport Analysis Guidance (TAG) Unit 3.1.3.
24. Magnaghi A. (2000), Il Progetto locale, Bollati Boringhieri, Torino
25. Meyer M., Miller E. (2001) Urban Transportation Planning: a decision-oriented approach-2nd ed, Mc Graw Hill, New York, NY
26. Newman P. e Kenworthy J. (1996), The land use-transport connection. An overview, Land Use Policy, vol.13, n.1, pp1-22
27. Papa E. (2006) Trasformazione urbana e sistemi di trasporto su ferro: da un paradigma interpretativo ad un caso di studio. Tesi di Dottorato di ricerca in Ingegneria delle Reti Civili e dei Sistemi Territoriali - Governo dei Sistemi Territoriali. Università degli Studi di Napoli Federico II
28. Papa E., Pagliara F. (2005) Trasformazioni Urbane e rete di trasporto su ferro: il caso di studio di Napoli, Articolo presentato alla XXVI Conferenza italiana di scienze regionali

29. Portal - Promotion of results in Transport Research and Learning (2003), Trasporti ed uso del territorio, www.eu-portal.net
30. Rodrigue J., Comtois C., Slack B. (2006), *The Geography of Transport Systems*, Routledge
31. Roncayolo M., (1978), "La città" , P.B.E., Einaudi
32. Royal Institution of Chartered Surveyors (2002), *Transport Development Areas – Guide to Good Practice*, London
33. Urban Task Force (1999), *Towards an Urban Renaissance*, E&FN Spon, London
34. Wegener M. e Furst F. (1999) "Land-use and transport interaction: State of the Art" Bozza finale del progetto TRANSLAND finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del Programma RTD Trasporti del IV Programma Quadro, Institute of Spatial Planning, Università di Dortmund.

Modelli di interazione Trasporti-Territorio

1. Blunden W.R. e Black J.A. (1984), *The land-use/transport system*, Pergamon Press
2. Cascetta, Biggiero, Pagliara (2000) "Modelli di utilità aleatoria per lo studio dell'interazione trasporti/territorio nella localizzazione delle attività"
3. Cascetta E. , Nuzzolo A., Coppola P. (2006) "Territorio, Economia, Logistica e Trasporti. Analisi e previsione della mobilità delle persone" vol. Secondo, Texmat.
4. David Simmonds Consultancy in collaboration with Marcial Echenique and Partners Limited (October 1999) *Review of Land-Use Transport Interaction Models*. DETR.
5. Jara-Díaz, S R (1986): On the relation between users' benefits and the economic effects of transportation activities. *Journal of Regional Science*, vol 26, pp 379-391.
6. Lee D. (1973), Requiem for large scale urban models, *Journal of the American Institute of Planners*, 39, 163-178.
7. Lee D. (1994), Retrospective on large scale urban models, *Journal of the American Planning Association*, 60, 35-40.
8. London Department of Transport (2005) *Land-use/transport interaction model, Transport Analysis Guidance (TAG) Unit 3.1.3*.
9. Martínez F J and Araya C (1998): Land use impacts of transport projects: user benefits, rents and externalities. Paper presented to the World Conference on Transport Research, Antwerp

10. Simmonds D. C., Dobson, A (2007): The use of land-use/economic modelling in transport planning: Experience with DELTA. Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC
11. Timmermans H.J.P. (2003) The saga of integrated land use - transport modeling: how many more dreams before we wake up? (In Proceedings of the International Association of Traveler Behavior Conference)
12. Torrens P. (2000), How land use-transportation models work, Centre for Advanced Spatial Analysis, University College of London
13. Waddel P. (2002) UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning, Journal of the American Planning Association, vol. 68, N.3 Summer, pp. 297-314
14. Webster, F V, P H Bly and N J Paulley (1988): Urban land-use and transport interaction: policies and models. Phase I report of the International Study Group on Land-Use Transport Interaction (ISGLUTI). Avebury, Aldershot.
15. Wilson, A.G. (1997), Land use/transport interaction models - past and future, Journal of Transport Economics and Policy 32, 3-23

Accessibilità e centralità

1. Barabási A.-L., Albert R. (1999) Emergence of Scaling in Random Networks, Science, 286, 509.
2. Barabasi A.L., 2002, Linked: The New Science of Networks, Perseus Publishing, Cambridge, MA.
3. Baradaran S. e Ramjerdi F. (2001), Performance of Accessibility Measures in Europe, Journal of Transportation and Statistics, Volume 4 N 2/3
4. Bavelas A., (1948), A Mathematical Model for Group Structures. Human Organization, n. 7.
5. Ben-Akiva M. e Lerman S.R. (1979) Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility. In: Hensher, D.A., Sopher, P.R. (Eds.), Behavioural Travel Modelling. Croom Helm, Andover, Hants, pp. 654–679.
6. Bonacich, P. (1972) Factoring and weighting approaches to clique identification. Journal of Mathematical Sociology, 2 (1972), 113-120.
7. Brin, S. and L. Page, The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine. Computer Networks, 1998. 30(1-7): p. 107-117.
8. Bruinsma F. e Rietveld, P. (1998), The accessibility of European cities; theoretical framework and comparison of approaches. Environment and Planning A 30, 499–521.

9. Cascetta E. , Nuzzolo A., Coppola P. (2006) "Territorio, Economia, Logistica e Trasporti. Analisi e previsione della mobilità delle persone" vol. Secondo, Texmat.
10. El-Geneidy A., Levinson D. (2007) Place Rank: A New Accessibility Measure. Working Papers from University of Minnesota No 26, Nexus Research Group
11. Freeman L.C., 1977, A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness, *Sociometry*, n. 40.
12. Freeman L.C. (1979), Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification. *Social Networks*, n. 1.
13. Geurs K. T., van Wee B. (2004), Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12 127–140
14. Geurs K.T., Ritsema van Eck J.R. (2001), Accessibility measures: review and applications. RIVM report 408505 006, National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven.
15. Hägerstrand T. (1970). What about people in regional science? *People of the Regional Science Association* 24, 7–21.
16. Handy, S. (1993), A Cycle of Dependence: Automobiles, Accessibility and the Evolution of the Transportation and Retail Hierarchies, *the Berkeley Planning Journal*, Vol. 9, pp. 21-43.
17. Handy S. (1994), Regional versus local accessibility: implications for non-work travel. *Transportation Research Record* 1400, 58–66.
18. Handy S. (2002), Accessibility- vs. Mobility-Enhancing Strategies for Addressing Automobile Dependence in the U.S. Institute of Transportation Studies. Paper UCD-ITS-RR-02-15.
19. Handy S., Niemeier D.A. (1997), Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives. *Environment and Planning A* 29, 1175–1194.
20. Hansen W.G. (1959) How accessibility shapes land use, *Journal of the American Institute of Planners*, 25, 73-76.
21. Jacobs J. (1961), *The Death and Life of Great American Cities*. Random House, New York.
22. Junker B. H., Koschützki D., Schreiber F., (2006), Exploration of biological network centralities with CentiBiN. *BMC Bioinformatics*, 7:219
23. Koenig J. (1980) "Indicators of Urban Accessibility: Theory and Applications" *Transportation* Vol. 9, pp. 145-172.
24. Miller H.J., 1991. Modelling accessibility using space–time prism concepts within geographical information systems. *International Journal of Geographical Systems* 5 (3), 287–301.

25. Miller H.J., 1999. Measuring space–time accessibility benefits within transportation networks: basic theory and computational procedures. *Geographical Analysis* 31 (2), 187–212.
26. Murray, A. T., R. Davis, R. J. Stimson, and L. Ferreira. (1998), Public transportation access. *Transportation Research D* 3:319-328.
27. Newman M. E. J. (2005), A measure of betweenness centrality based on random walks. *Social Networks* 27, 39–54.
28. Ocelli S. (1999) Accessibilità e uso del tempo nella città Post-Fordista. Un'analisi empirica dell'accessibilità in alcuni comuni dell'area metropolitana di Torino, WP 126, IRES, Torino.
29. Porta S., Latora V., (2006) Multiple Centrality Assessment: Centralità e ordine complesso nell'analisi spaziale e nel progetto urbano, *Territorio*.
30. Scagnolari S., Reggiani A., Martìn J.C. (2006) "Accessibilità e trasporti in Europa: metodologie di sintesi ed applicazioni" in "Trasformazioni, coesioni, sviluppo territoriale. Temi emergenti nelle scienze regionali" Franco Angeli.
31. Wasserman S., Faust K., (1994). *Social Networks Analysis*, Cambridge U.P., Cambridge, UK.
32. Watts D.J., Strogatz S.H. (1998) "Collective dynamics of 'Small World' networks", *Nature*, 393

La provincia di Siracusa – Analisi del caso studio

1. Circolare Assessorato Territorio ed Ambiente Regione Siciliana n. 1 del 11/04/2002
2. D.M. 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"
3. Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n. 285 "Nuovo codice della strada" (Pubblicato nella G.U. 18 maggio 1992, n. 114, S.O.)
4. Legge 8 giugno 1990, n. 142 "Ordinamento delle autonomie locali" (G.U. R.S. 12 giugno 1990, n. 135, S.O.)
5. Legge Regionale n. 9 del 6 marzo 1986 "Istituzione della Provincia Regionale" (G.U.R.S. 8 marzo 1986, n. 11, S.O.) e ss.mm.ii.
6. Legge Regionale n. 71 del 27-12-1978 della Regione Sicilia "Norme integrative e modificative della legislazione vigente nel territorio della Regione siciliana in materia urbanistica" (Bollettino Ufficiale della Regione Sicilia n. 57 del 30 dicembre 1978)
7. Ministero per lo Sviluppo Economico (2007) - Quadro Strategico Nazionale 2007 – 2013 per la politica regionale di sviluppo 2007-2013

8. PON convergenza “Reti e mobilità” 2007 -2013
9. Provincia Regionale di Catania (2008) Piano della Mobilità esteso alla piattaforma multimodale della Sicilia orientale
10. Provincia Regionale di Siracusa (2010), Analisi e progetto del sistema dei trasporti
11. Provincia Regionale di Siracusa (2009), Piano Territoriale Provinciale - Schema di Massima
12. Regione Siciliana (2004), Piano attuativo del trasporto delle merci e della logistica
13. Regione Siciliana, Programma Operativo Regionale FESR 2007 – 2013 della Regione Siciliana
14. Regione Siciliana (2004), Piano Regionale dei Trasporti e della Logistica della Regione Siciliana
15. Unioncamere (2007), Atlante della competitività delle Province e delle Region

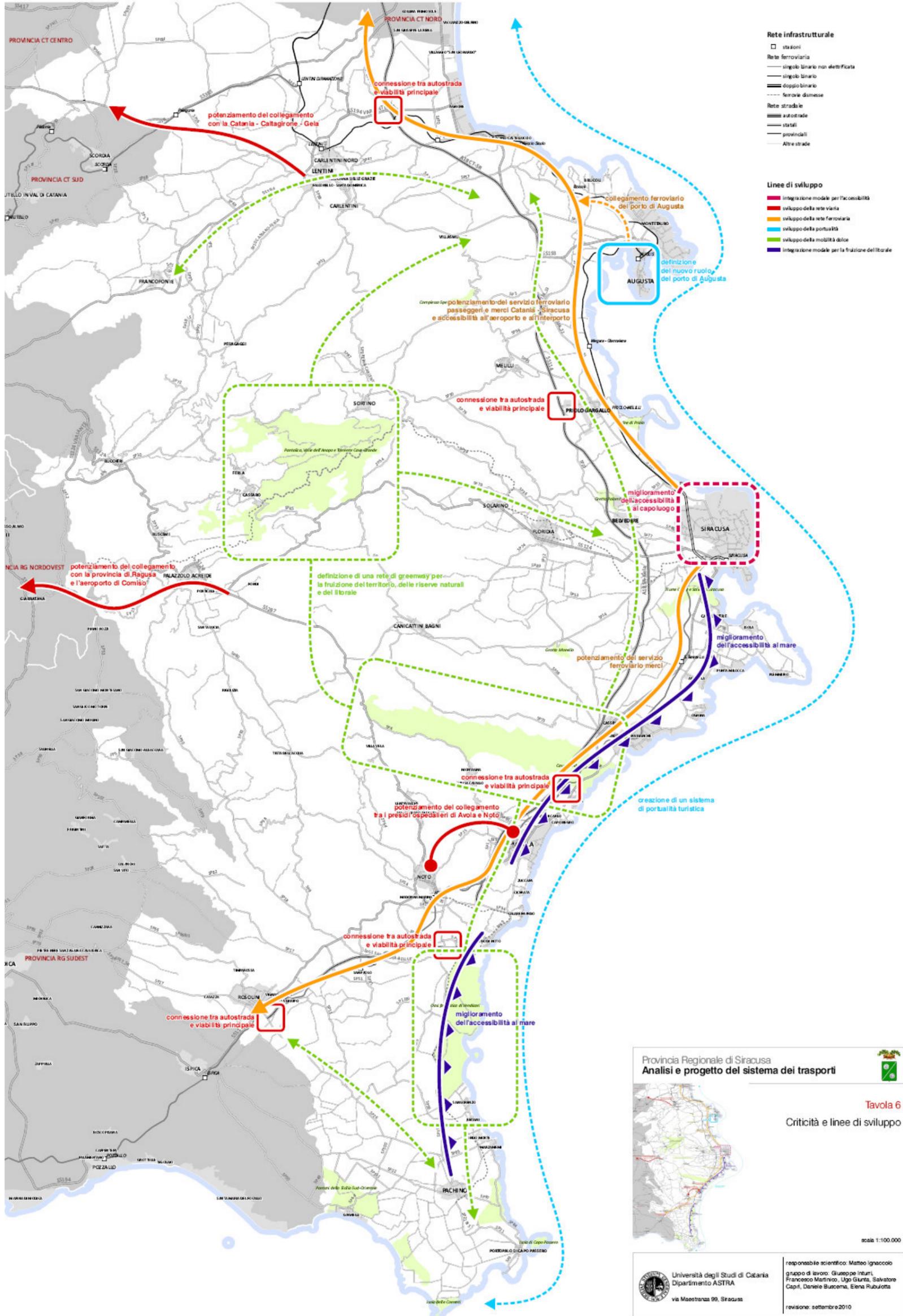


Tavola 2 – Criticità e linee di sviluppo

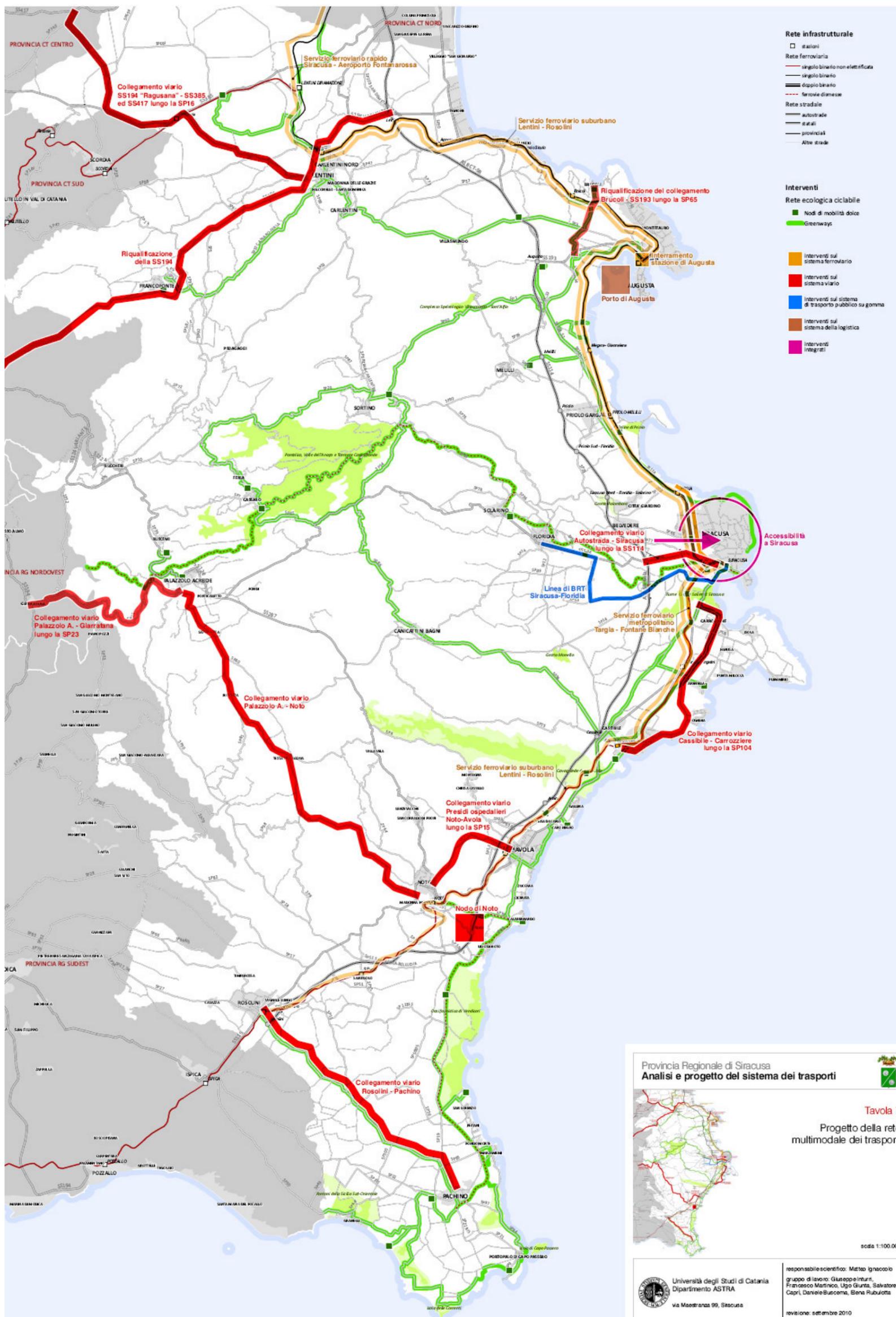


Tavola 3 – Progetto delle reti multimodale dei trasporti