

## 1.2. Analisi dell'offerta di trasporto: il grafo viario

Tutte le elaborazioni grafiche per l'implementazione della rete viaria sono state effettuate avendo come base una cartografia aggiornata dell'area di studio, in versione informatizzata vettoriale, in modo da avere sempre una rappresentazione strettamente georeferenziata e quindi esente da possibili errori di deformazione, scarsa chiarezza e incomprensibilità.

Su questa carta informatizzata è stata costruita la rete viaria, ottenuta come estrazione degli assi stradali delle infrastrutture principali nel territorio provinciale di Palermo e come reticolo viario completo all'interno della città di Bagheria e degli altri comuni limitrofi.

Al momento della realizzazione del grafo viario sono stati considerati i sensi unici presenti nel territorio, sono state rappresentate le varie intersezioni in modo dettagliato, dai semafori, alle rotatorie, alle rampe autostradali. Ogni arco è stato caratterizzato con alcuni attributi (n° corsie, velocità di flusso libero, capacità teorica, tipologia di sosta superficiale, classe di pendenza), utili per la classificazione gerarchica e il calcolo del tempo di percorrenza.

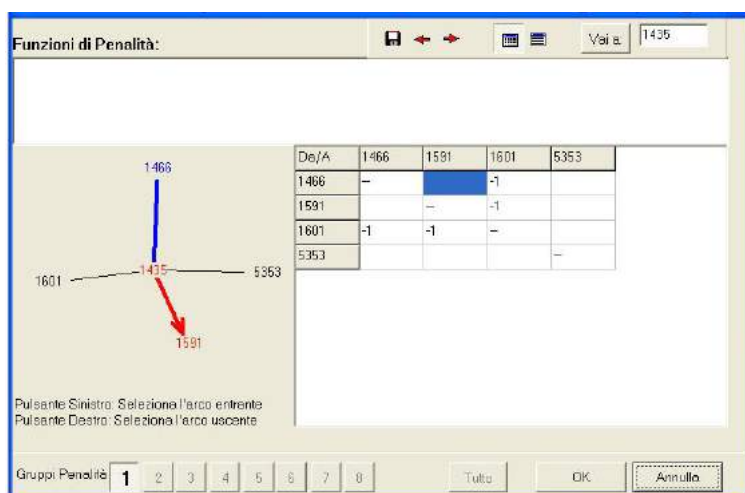
La rete è stata quindi dotata di specifiche curve di deflusso che tengono conto di tutte le caratteristiche di arco imputate nel database viario: ad esempio, la presenza di stalli di sosta lungo l'arco che rallenta il flusso di veicoli.

**Complessivamente il modello di rete del trasporto privato è strutturato secondo 158 centroidi** (uno per ogni zona di traffico), **2105 nodi e 5483 archi monodirezionali**. Alcune tipologie di archi, quali le traverse, le strade bianche e la viabilità prettamente locale, sono state disattivate in quanto non rappresentative in fase di simulazione.

Gli archi sono stati organizzati in classi funzionali e gerarchiche, i linktype, in modo da associare direttamente ad un codice i valori di velocità, capacità, numero di corsie e i coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  utilizzati nella formula BPR (Bureau of Public Roads) per il calcolo del tempo di percorrenza.

### 1.2.1. La schematizzazione delle penalità di svolta

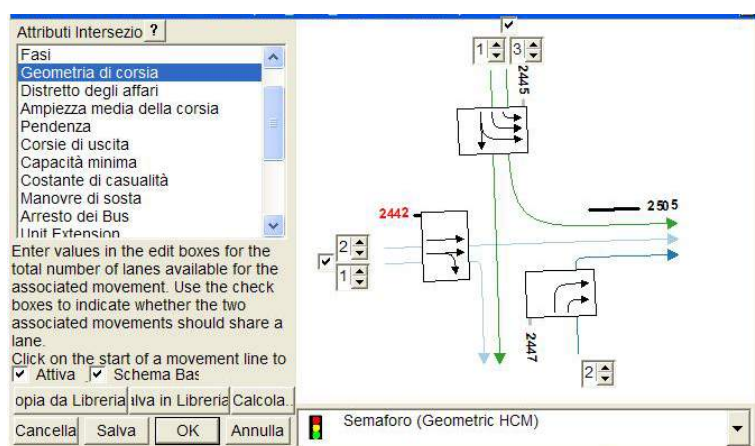
All'interno del software Cube5 è possibile inserire le eventuali penalità di svolta, sia come ritardo aggiuntivo che come svolta vietata.



Interfaccia grafica Cube5 per la definizione delle penalità di svolta

### 1.2.2. La schematizzazione delle intersezioni

All'interno del software Cube5 è possibile schematizzare le principali intersezioni, dalle rotatorie, agli incroci a raso regolati con impianti semaforici o a precedenza.



Interfaccia grafica Cube5 per la definizione delle intersezioni

Attraverso un'interfaccia grafica si può inserire per ogni manovra l'eventuale penalità o il codice corrispondente alla svolta vietata.

Queste informazioni sono inserite all'interno di un file di estensione .pen.

Attraverso un'interfaccia grafica si può dettagliare ogni intersezione, indicandone le geometrie, le regolamentazioni e le eventuali fasi semaforiche.

Queste informazioni sono inserite all'interno di un file di estensione .ind.

### 1.3. Le curve di deflusso

La curva di deflusso è la relazione matematica tra il costo di un arco, inteso generalmente come tempo di percorrenza, e il flusso presente sull'arco stesso.

Nel caso delle strade urbane è valido ipotizzare che il costo abbia un'unica componente, appunto il tempo del viaggio, perchè gli utenti avvertono quest'ultimo in misura nettamente prevalente rispetto alle altre componenti di costo.

All'interno della simulazione, realizzata con il software Cube5, è stata adottata la funzione di tipo BPR (Bureau of Public Roads) del tipo:

$$T = \frac{\text{Lunghezza}}{V0} * 60 * \left( 1 + \alpha * \left( \frac{\text{volau}}{S} \right)^\beta \right) + C$$

Dove:

*volau* rappresenta il flusso assegnato dal modello;

*S* corrisponde alla capacità di saturazione;

$\alpha$  e  $\beta$  sono i parametri legati alla geometria dell'infrastruttura, associati direttamente al linktype;

La curva di deflusso ha quindi caratterizzato, al variare della tipologia di arco e quindi di  $\alpha$  e  $\beta$ , la calibrazione e le successive assegnazioni.

| Linktype                | Codice | BPR      |         |
|-------------------------|--------|----------|---------|
|                         |        | $\alpha$ | $\beta$ |
| CONNETTORI              | 999    | 1,0      | 2,0     |
| URBANE                  | 1      | 1,0      | 2,5     |
| COMUNALI                | 2      | 1,0      | 3,5     |
| PROVINCIALI             | 3      | 1,0      | 3,5     |
| PROVINCIALI EXTRAURBANE | 406    | 1,0      | 6,0     |
| REGIONALI               | 4      | 1,0      | 6,0     |
| STATALI URBANE          | 500    | 1,0      | 4,5     |
| STATALI PIANURA         | 503    | 1,0      | 5,0     |
| AUTOSTRADE              | 100    | 1,0      | 9,0     |
| RAMPA AUTOSTRADA        | 111    | 1,0      | 3,5     |

*I linktype utilizzati*

*V0* rappresenta la velocità di flusso libero.

## 1.4. Analisi della domanda

I dati del Censimento ISTAT 2001 e gli esiti della campagna di indagini alle sezioni al cordone (flussi di traffico e interviste motivazionali) sono stati la base per la ricostruzione della domanda nel Comune di Bagheria.

La matrice ISTAT fornisce già una prima indicazione sul riparto modale, scomponendo la totalità degli spostamenti sistematici a seconda del modo di trasporto utilizzato.

L'integrazione della matrice ISTAT con i risultati dei flussi rilevati durante l'indagine Sintagma condotta tra maggio e giugno 2011, attraverso la fase di calibrazione, ha permesso di ottenere la matrice di base del modo auto, dell'ora di punta della mattina (7:00 – 8:00).

### 1.4.1. Il riparto modale ISTAT 2001

La mobilità sistematica misurata dall'ISTAT all'interno del Censimento 2001, per la fascia oraria di punta del mattino (indicativamente 6:15 – 9:15), è una buona base per valutare, in prima analisi, la distribuzione dei flussi ed effettuare le prime considerazioni sulla mobilità all'interno del Comune di Bagheria.

Tra i vari dati, l'ISTAT fornisce un'indicazione circa il mezzo utilizzato per gli spostamenti, distinguendo tra mezzi pubblici (treno, tram, metropolitana, autobus urbano, extraurbano o aziendale/scolastico), mezzi privati (auto privata come conducente, come passeggero o motocicletta) e mezzi non motorizzati (bicicletta, a piedi o altro).

A seguire, si riporta l'analisi effettuata in termini di riparto modale sugli spostamenti con origine o destinazione interna al Comune di Bagheria: si evidenzia un rapporto 75% – 25% tra spostamenti motorizzati e spostamenti non motorizzati.

|                                  |      |        |                 |        |          |        |         |        |
|----------------------------------|------|--------|-----------------|--------|----------|--------|---------|--------|
| Treno                            | 1310 | 5,50%  | Motorizzati     | 75,06% | Pubblico | 20,94% | Treno   | 35,24% |
| Tram                             | 24   | 0,10%  |                 |        |          |        | Autobus | 64,76% |
| Metropolitana                    | 9    | 0,04%  |                 |        |          |        |         |        |
| Autobus urbano                   | 796  | 3,34%  |                 |        |          |        |         |        |
| Autobus extraurbano              | 1221 | 5,13%  |                 |        |          |        |         |        |
| Autobus aziendale o scolastico   | 383  | 1,61%  |                 |        | Privato  | 79,06% | Auto    | 92,73% |
| Auto privata (conducente)        | 8105 | 34,04% |                 |        |          |        |         |        |
| Auto privata (passeggero)        | 4999 | 20,99% |                 |        |          |        |         |        |
| Moto                             | 1028 | 4,32%  |                 |        |          |        | Moto    | 7,27%  |
| Bicicletta, a piedi, altro mezzo | 5938 | 24,94% | Non motorizzati | 24,94% |          |        |         |        |

*Riparto modale per gli spostamenti con origine o destinazione interna al Comune di Bagheria*

Fra chi utilizza il mezzo motorizzato, il rapporto che intercorre tra mezzo privato e mezzo pubblico fra è 79% – 21%: tra coloro che utilizzano il mezzo pubblico più del 64% sceglie l'autobus, mentre il 35% preferisce il treno, esclusivamente per le tratte tra Bagheria e l'esterno e tra l'esterno e Bagheria, in quanto nel territorio comunale è presente un'unica stazione ferroviaria sulla linea tirrenica Messina – Palermo.

#### **1.4.2. La matrice di base del modo auto**

Dal dato del pendolarismo ISTAT sono stati selezionati unicamente gli spostamenti con origine o destinazione interne alla provincia di Palermo: per ogni spostamento, nel database è specificato il comune di origine e il comune di destinazione.

La zonizzazione intracomunale per Bagheria e gli altri 7 comuni ha comportato la necessità di distribuire sia in origine che in destinazione i movimenti.

Attraverso i dati che caratterizzano le zone di traffico, è stato possibile esplodere e distribuire all'interno dei territori le origini e le destinazioni di ogni spostamento: in particolare le prime sono state assegnate proporzionalmente al numero di occupati e studenti residenti, mentre le seconde proporzionalmente al numero di addetti.

#### **1.4.3. L'individuazione dell'ora di punta e selezione dei punti di calibrazione**

Nella primavera 2012 Sintagma in collaborazione con il Comune di Bagheria ha avviato una campagna di monitoraggio dei flussi di traffico e di interviste motivazionali.

Per la predisposizione del modello di simulazione sono stati considerati i risultati delle sezioni al cordone e delle sezioni interne.

Il cordone è una linea tecnica-ideale di separazione che interseca il sistema viario principale dell'ambito urbano di Bagheria, in **7 sezioni monodirezionali** così riassumibili:

- C1 Via Roccaforte;
- C2 Via Sant'Ignazio di Lojola;
- C3 Corso Baldassare Scaduto;
- C4 Via Rammacca;
- C5 S.S.113;

- C6 A19 Palermo Catania, uscita Bagheria;
- C7 Via Vanellone del Fonditore.

Per le sezioni interne sono state scelte **15 sezioni interne monodirezionali**, tra le più significative nella città di Bagheria:

- R2 Via Passo del Carretto;
- R3 Via Filippo Buttitta;
- R4 Viale Libertà, dir.Corso Buttitta;
- R5 Via Quattrocchi;
- R6 Via Angiò, dir.nord;
- R7 Via Molè, dir Via Angiò;
- R9 Via D'Amico;
- R10 Via Roccaforte alta;
- R11 Via Mattarella;
- R12 Via Palagonia;
- R13 Via Dante; dir.Corso Buttitta;
- R14 Via Bagnera, dir.Sud;
- R15 Via Federico II, dir.ovest;
- R16 Corso Butera;
- R18 Via Papa Giovanni XXIII, dir.nord

Il rilievo è stato finalizzato alla determinazione dei volumi di traffico nel centro urbano di Bagheria, distinguendo, sulle schede opportunamente predisposte dalla Società Sintagma, le seguenti tipologie di veicoli:

- auto;
- veicoli commerciali leggeri e pesanti;

- veicoli pubblici (urbani, extraurbani, scolastici e turistici).

I dati registrati sono stati poi inseriti ed elaborati su figli di calcolo secondo le esigenze del progetto, ottenendo i veicoli equivalenti, come prodotto del numero di passaggi per i pesi specifici:

- auto = 1;
- veicoli commerciali leggeri = 1.5;
- veicoli commerciali pesanti = 2.5;
- autobus = 2.5.

A partire dai rilievi effettuati è stata individuata l'ora di punta, definita come intervallo orario di massimo carico dei flussi di traffico in veicoli equivalenti sulla rete nel giorno feriale medio.

Per il Comune di Bagheria l'ora di punta risulta quella tra le 16:00 e le 17:00; ma all'interno della simulazione sono stati inseriti i risultati dell'ora di punta della mattina (tra le 7:00 e le 8:00) coerenti con i dati della sezione Pendolarismo del censimento, che riporta il primo spostamento della giornata, quindi in orario mattutino (indicativamente 6:15 – 9:15).

Tra le 16:00 e le 17:00 i radar nelle 22 sezioni di rilievo hanno conteggiato un flusso totale pari a 11.916,5 veic-eq/h, tra le 7:00 e le 8:00 11.289,5 veic-eq/h, con una contrazione del 5,5%.

Per l'ora di punta della mattina risultano quindi 22 punti di calibrazione.

| SEZIONE | LOCALITA'                            | DIREZIONE    | FLUSSO RILEVATO |               | SEZIONE | LOCALITA'               | DIREZIONE    | FLUSSO RILEVATO |               |
|---------|--------------------------------------|--------------|-----------------|---------------|---------|-------------------------|--------------|-----------------|---------------|
|         |                                      |              | 7:00 - 8:00     | 16:00 - 17:00 |         |                         |              | 7:00 - 8:00     | 16:00 - 17:00 |
| C1      | Via Roccaforte                       | Bagheria     | 646             | 647,5         | R6      | Via Angiò               | nord         | 530,5           | 485,5         |
| C2      | Via Sant'Ignazio di Lojola           | Bagheria     | 356,5           | 459,5         | R7      | Via Molè                | Via Angiò    | 330             | 352,5         |
| C3      | Corso Baldassare Scaduto             | Bagheria     | 223             | 243,5         | R9      | Via D'Amico             | est          | 596,5           | 566           |
| C4      | Via Rammacca                         | Bagheria     | 487,5           | 488,5         | R10     | Via Roccaforte alta     | centro       | 658,5           | 689,5         |
| C5      | S.S.113                              | Bagheria     | 779             | 717,5         | R11     | Via Mattarella          | Corso Butera | 681,5           | 681           |
| C6      | A19 Palermo Catania, uscita Bagheria | Bagheria     | 776,5           | 974,5         | R12     | Via Palagonia           | nord         | 202             | 243,5         |
| C7      | Via Vanellone del Fonditore          | Bagheria     | 311,5           | 346,5         | R13     | Via Dante               | Corso Butera | 426,5           | 400,5         |
| R2      | Via Passo del Carretto               | centro       | 725,5           | 882           | R14     | Via Bagnera             | sud          | 638             | 638           |
| R3      | Via Filippo Buttitta                 | ovest        | 658,5           | 739           | R15     | Via Federico II         | ovest        | 272             | 178           |
| R4      | Viale Libertà                        | Corso Butera | 329,5           | 439           | R16     | Corso Butera            | sud          | 457,5           | 598,5         |
| R5      | Via Quattrocchi                      | Corso Butera | 396,5           | 375           | R18     | Via Papa Giovanni XXIII | nord         | 806,5           | 771           |
| TOTALE  |                                      |              |                 |               |         |                         |              | 11289,5         | 11916,5       |

Sezioni di rilievo del traffico, flussi rilevati 7:00 – 8:00 e 16:00 – 17:00

#### 1.4.3.1. Il coefficiente di espansione

Il fattore di espansione dal traffico veicolare orario della mattina al traffico giornaliero è stato ottenuto a partire dai flussi rilevati nell'ora di punta della mattina 7:00 – 8:00 e da quelli misurati nell'intera giornata feriale (rilievo 24h/24).

Il coefficiente di espansione della mattina, pari a 13,85, è il rapporto tra la somma del dato giornaliero di tutte le sezioni al cordone e la somma del dato dell'ora di punta della mattina (7:00 – 8:00), delle stesse sezioni.

Allo stesso modo è stato calcolato il fattore di espansione dal traffico veicolare orario del pomeriggio al traffico giornaliero, pari a 13,12.

#### **1.4.4. La calibrazione del modello**

Una volta completata la rappresentazione dell'offerta e della domanda di mobilità, si è proceduto con la calibrazione delle matrici auto considerando i valori dei flussi veicolari rilevati nelle sezioni di rilievo durante la campagna dei rilievi Sintagma del 2012.

Infatti, la matrice di partenza non corrisponde esattamente alla realtà del territorio di studio, sia per la parzialità dei dati d'origine (ISTAT), sia perché esiste una consistente componente occasionale, non rilevabile dai dati di base, che assume comunque carattere di sistematicità: si tratta di tutti quegli spostamenti verso polarità territoriali (ospedali, municipio, supermercati) la cui frequenza media per abitante nel territorio considerato assume valori consistenti e stabili.

La matrice dell'ora di punta della mattina (7:00-8:00), elaborata sulla base della sezione pendolarismo, del censimento ISTAT 2001 della popolazione è stata la base della ricostruzione della domanda di trasporto per i veicoli privati.

La matrice di base e i flussi di traffico misurati sono stati gli elementi fondamentali del processo di calibrazione del modello, che ha ricalcolato le matrici orarie della mattina (7:00-8:00), in modo da restituire in fase di assegnazione un quadro quanto più verosimile della situazione attuale.

Partendo da una matrice di 65.837 spostamenti, il processo di calibrazione ha elaborato una matrice di 70.874 movimenti tra le 7:00 e le 8:00<sup>1</sup>.

Il procedimento ha riportato risultati eccellenti, con un coefficiente di regressione lineare (parametro che considera la bontà complessiva della calibrazione, tanto migliore quando si avvicina ad 1) superiore a 0,958.

Utile per una valutazione puntuale, sezione per sezione, è il calcolo dell'indice GEH, definito come:

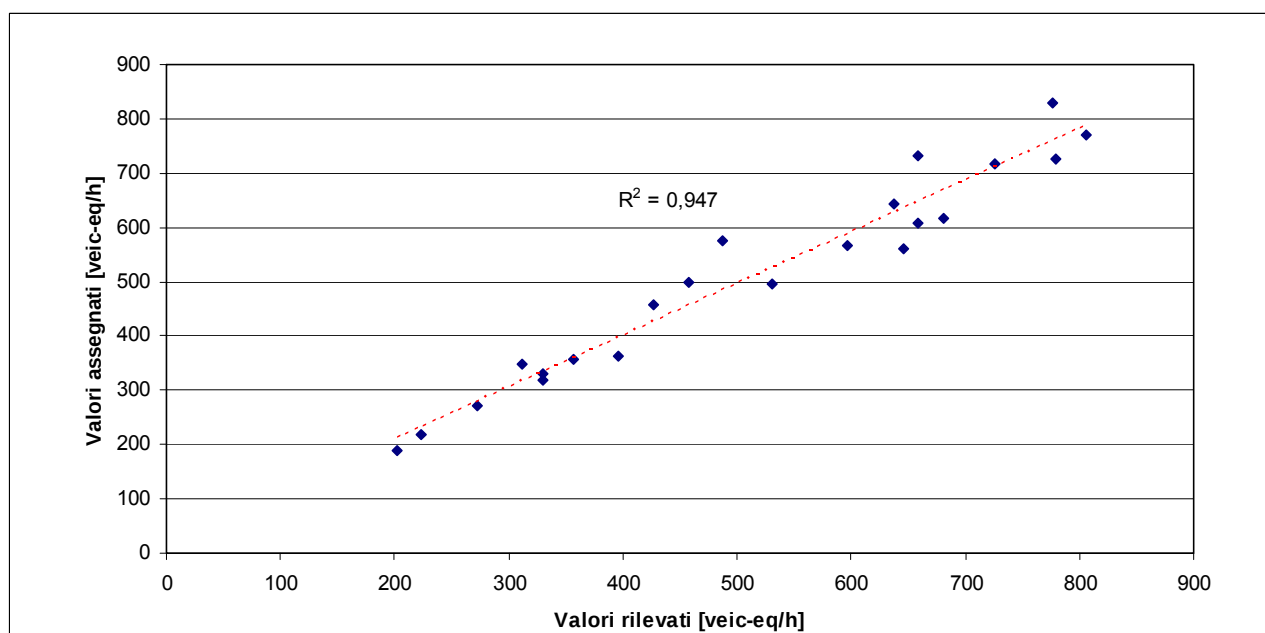
---

<sup>1</sup> Entrambe le matrici rappresentano gli spostamenti con origine o destinazione interne alla Provincia di Palermo, eccetto le relazioni intrazonali.

$$GEH = \sqrt{\frac{(simulato - rilevato)^2}{(simulato + rilevato) * 0,5}}$$

Esaminando i **22 punti di calibrazione della mattina**, si nota che l'indice GEH risulta sempre minore di 5, a conferma della bontà del processo di calibrazione.

Di seguito si riporta il grafico dell'interpolazione della mattina.



Interpolazione della mattina

#### 1.4.5. La matrice auto calibrata ora di punta della mattina (7:00-8:00)

La matrice calibrata sintetizza efficacemente la distribuzione dei flussi riferiti al territorio comunale di Bagheria.

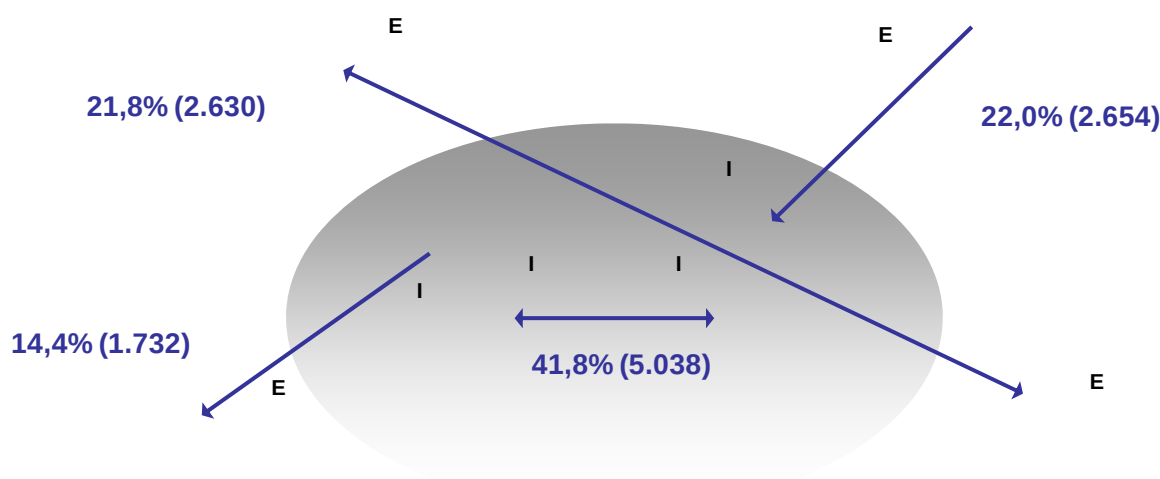
All'interno del modello di simulazione, dalla matrice calibrata nell'ora di punta della mattina è stata estratta una sottomatrice che rappresenta i soli spostamenti che interessano la viabilità all'interno del territorio comunale di Bagheria, tralasciando tutti gli spostamenti esterni. Questa sottomatrice ha una consistenza pari a 12.054 spostamenti orari.

La rappresentazione grafica proposta evidenzia la distribuzione del traffico veicolare, scomponendo la sottomatrice degli spostamenti che interessano il comune di Bagheria in 4 aliquote:

- Interno – interno
- Interno – esterno

- Esterno – Interno
- Esterno – esterno

## DISTRIBUZIONE DEL TRAFFICO VEICOLARE: Matrice calibrata 2012, ora di punta 7:00-8:00



**Sottomatrice degli spostamenti che interessano il Comune di Bagheria: 12.054 spostamenti/h**

*Distribuzione del traffico veicolare*

Nell'intervallo orario considerato, dei 12.054 spostamenti stimati, 5.038 avvengono all'interno della città di Bagheria, mentre 2.630 sono di attraversamento, con origine e destinazione esterne, perlopiù lungo il corridoio autostradale A19 Palermo – Catania<sup>2</sup>.

Bagheria comunque si dimostra un polo attrattore di spostamenti: nonostante la vicinanza con la città di Palermo la componente esterno-interno (2.654 spostamenti) supera ampiamente la componente interno-esterno (1.732 spostamenti).

In particolare, dei 1.732 veicoli equivalenti in uscita dal territorio comunale quasi 1.100 hanno come destinazione una delle 8 zone di traffico di Palermo.

<sup>2</sup> Il traffico di attraversamento sulla A19 è stimato pari a 1.466 veic.eq./h.