

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DEI TRASPORTI "L. TOCCHETTI"

## ABSTRACT

RELATORE

Ch.mo Prof. Gianluca Dell'Acqua

CANDIDATI

della Sala Marianna  
matr.324/172

CORRELATORI

Ing. Francesca Russo

Ing. Mario De Luca

Tuccillo Emiddia  
matr.324/164

ANNO ACCADEMICO 2010/2011



Fig. 1 – Localizzazione rotatorie sulla mappa di Cosenza

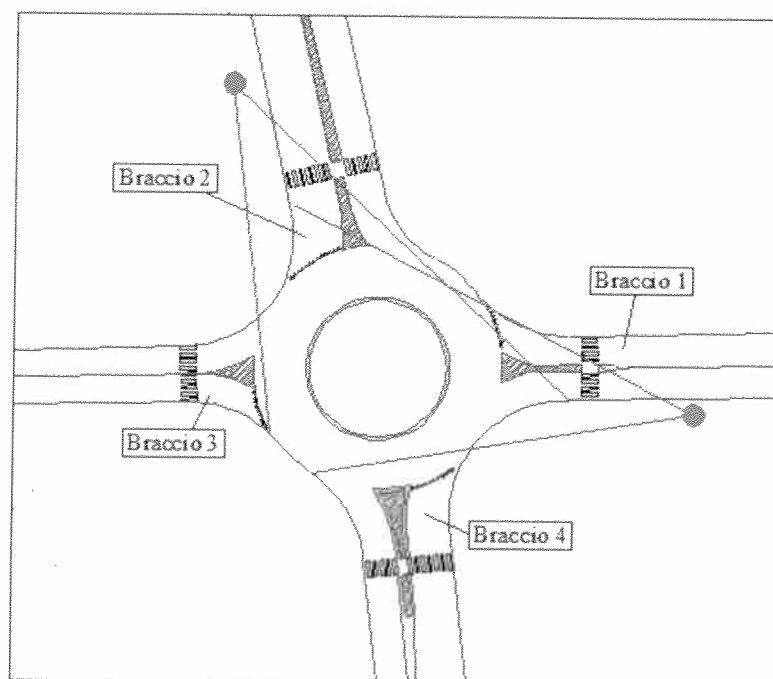
Le caratteristiche geometriche delle rotatorie e degli ingressi, analizzate sono illustrate nel quadro sinottico seguente dal quale è possibile osservare che entrambe le rotatorie esaminate sono caratterizzate da un'unica fila di distribuzione all'anello e classificate come rotatorie compatte essendo il diametro esterno compreso tra i 25 e i 40 m.

caratteristiche geometriche	Rotatoria 1				Rotatoria 2		
Raggio esterno Rest [m]	19				13.5		
Raggio interno Rint [m]	11				8		
n° corsie anello	1				1		
Larghezza anello ANN [m]	8				5.5		
Nodo	I	II	III	IV	I	II	IV
n° corsie ingresso	1	2	1	2	1	1	1
Larghezza ingresso ENT [m]	4.8	7.5	4.5	6.5	5.9	6	6.6
Larghezza isola separatrice SEP [m]	4.5	4.1	5.8	5	4.4	4.5	7.8

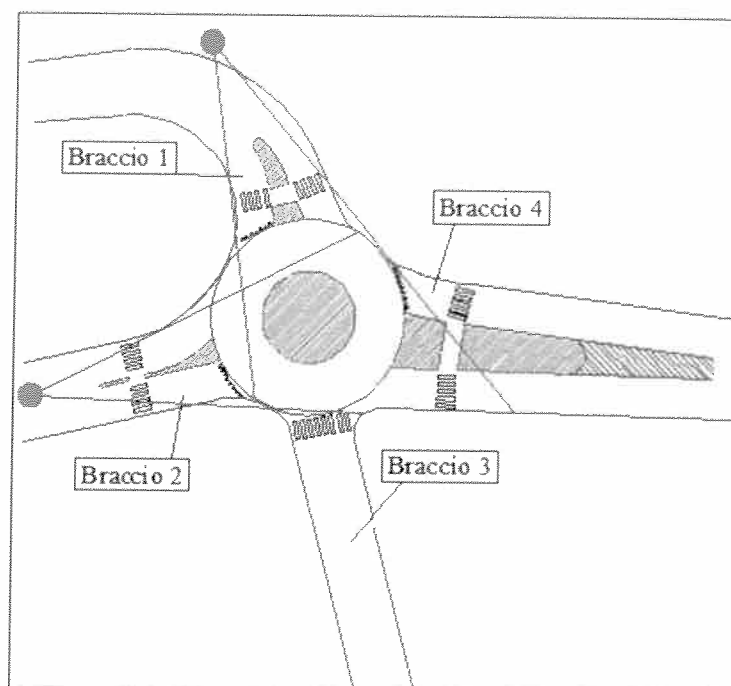
*Tabella 1 – Caratteristiche geometriche rotatorie*

Per entrambe le rotatorie abbiamo scelto come orario di registrazione quello dalle 11.30 alle 12.30, in quanto in questi orari si registravano aumenti considerevoli delle portate in ingresso. Data la scelta degli intervalli temporali, le riprese video si sono dovute svolgere in due giorni diversi (17-18/06/2010). Giunti in prossimità della rotatoria abbiamo provveduto all'individuazione del giusto posizionamento delle due telecamere. Tale operazione, che in primo luogo può sembrare alquanto semplice, non è stata assolutamente facile né veloce, data la presenza di numerosi ostacoli come ad esempio i palazzi prospicienti la strada e le stesse caratteristiche geometriche delle strade confluenti (questo, in particolare, si è verificato presso la rotatoria 2 in cui il braccio 1 è caratterizzato da una curva che ostacolava la visibilità del braccio 2).

Nelle figure 2 e 3 si sono riportati la planimetria con l'ubicazione definitiva dei coni ottici.



*Figura2 – Coni ottici telecamere poste sulla rotatoria  
Via Tommasi -Via Marconi*



*Figura3 – Coni ottici telecamere poste sulla rotatoria  
V.le della Repubblica -Via Gaudio*

Dopo aver posizionato le telecamere abbiamo avviato la registrazione in piena sincronizzazione.

Una volta ottenuti i video sono stati successivamente osservati numerose volte con l'ausilio del software Premiere, un programma che permette di riprodurre un filmato avanzando di un fotogramma per volta con un intervallo temporale di 1/25 di secondo tra due fotogrammi successivi.

Questo significa che un filmato di 60 minuti è costituito da ben 90000 fotogrammi e che quindi la mole di lavoro, per sviluppare ogni filmato, avanzando di un fotogramma alla volta, è stata non indifferente.

Per ognuno dei rami, ed ogni qualvolta si presentava la condizione per cui si aveva la presenza costante di veicoli in attesa di immettersi (coda all'ingresso) per un periodo sufficientemente lungo, sono stati raccolti i seguenti dati:

- $Q_c$  = portata circolante all'anello: sono stati distinti i veicoli per tipologia ed è stata eseguita la omogeneizzazione dei flussi esprimendo il traffico in unità di veicoli passeggeri (uvp/h);
- $Q_e$  = portata entrante nell'anello: sono stati distinti i veicoli per tipologia ed è stata eseguita la omogeneizzazione dei flussi esprimendo il traffico in unità di veicoli passeggeri (uvp/h);
- $Q_u$  = portata uscente dall'anello: sono stati distinti i veicoli per tipologia ed è stata eseguita la omogeneizzazione dei flussi esprimendo il traffico in unità di veicoli passeggeri (uvp/h);

Con questo modo di procedere si è creato un database sul quale sono state condotte le sperimentazioni concernenti la capacità, che è sicuramente il più importante dei parametri prestazionali di una rotatoria poiché, oltre ad individuare i limiti operativi di impiego dell'intersezione, influenza la valutazione degli altri parametri di prestazione (ritardo, lunghezza della coda, etc.).

La capacità può essere misurata sperimentalmente attraverso due metodologie:

- misurando la portata entrante durante i singoli intervalli maggiori dell'intervallo critico, che si presentano nella corrente principale, e la relativa porzione di tempo occupata da questi ultimi rispetto al tempo totale di osservazione;
- misurando le portate entranti da un ingresso in condizioni di saturazione con costante presenza di veicoli in attesa durante un periodo di osservazione sufficientemente lungo.

Il primo metodo è impiegato prevalentemente nell'analisi delle intersezioni semaforizzate, mentre trova scarso impiego nello studio delle intersezioni a rotatoria a causa della breve durata degli intervalli temporali della corrente principale (corrente circolante nell'anello) in cui si possono effettuare manovre di ingresso. Il secondo metodo è quello più diffusamente impiegato nell'analisi della capacità degli ingressi nelle intersezioni a rotatoria, vista la sua maggiore semplicità, anche se le misurazioni possono essere effettuate solo in condizioni di sovra-saturazione dell'ingresso.

Nella sperimentazione svolta, le misure di capacità sono state effettuate con quest'ultimo metodo, considerando come periodi di osservazione gli intervalli in cui il flusso nell'anello era stazionario. A fini tecnici, la stazionarietà si ritiene attinta, con ingressi sottosaturati, se la domanda di traffico al nodo è costante per un periodo di tempo finito  $T$ , ma sufficientemente ampio da consentire la stabilizzazione delle condizioni operative della rotatoria intorno a valori medi costanti dei parametri di stato (lunghezza delle code e tempi di attesa).

Pertanto sono state scartate tutte le osservazioni relative a code in ingresso di durata inferiore a 5 secondi. Operando in questo modo si è passati da un totale di 406 osservazioni a 150.

In ciascun intervallo temporale in cui i flussi sull'anello erano stazionari, sono stati contati il numero di veicoli circolanti, entranti ed uscenti in corrispondenza del nodo considerato.

Conclusa la fase di rilievo dei dati abbiamo verificato l'attendibilità delle 150 osservazioni e individuato che la migliore correlazione tra i dati rilevati era tra  $Q_c$ - $Q_e$  e di tipo lineare. Da ciò è scaturito che per le rotatorie considerate, la portata di disturbo, coincide con quella circolante in quanto le caratteristiche geometriche delle stesse, ma soprattutto quelle delle isole divisionali fanno sì che l'utente in posizione di servizio percepisca in modo ottimale le traiettorie dei veicoli circolanti, in modo da saper distinguere tra quelli che egli stesso individua come utenti in uscita e quelli circolanti. Notando però un coefficiente di correlazione,  $R^2$ , troppo basso per poter formulare un modello, si è proceduto alla creazione di classi sulla base del parametro  $Q_c$  di ampiezza pari a 50 uvp/h a ciascuna delle quali è stato poi assegnato un valore medio di  $Q_c$  e di  $Q_e$ .

Giunti a questo punto si sono diagrammati nuovamente i valori di  $Q_e$  in funzione di quelli di  $Q_c$  verificando un aumento sostanziale del coefficiente di correlazione  $R^2$  ( da 0.217 a 0.652) e un livello di significatività dei coefficienti minori del 5%, ricavando così come modello di capacità:

$$Q_c = 1286 - 0.452 Q_e$$

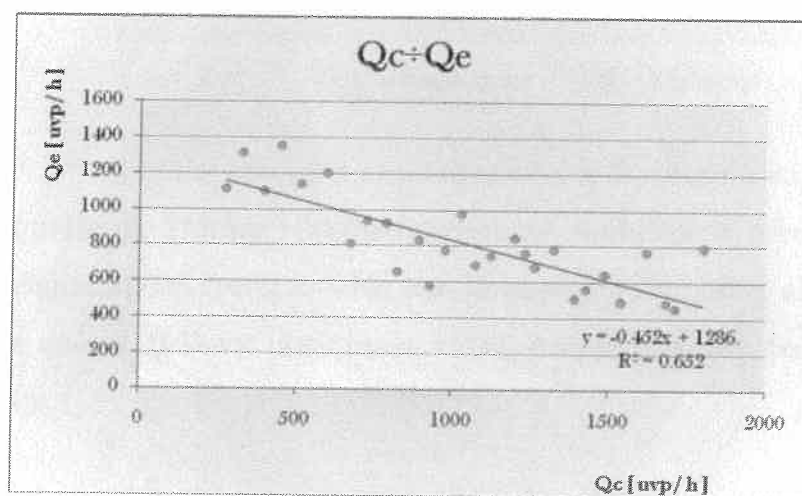


Diagramma 3 -  $Q_e$  -  $Q_c$

Risultati alquanto accettabili, invece, sono stati ricavati applicando le formulazioni di Brilon sebbene risulti evidente che quella lineare, produce valori inammissibili per  $Q_c$  maggiori di 1500 uvp/h.

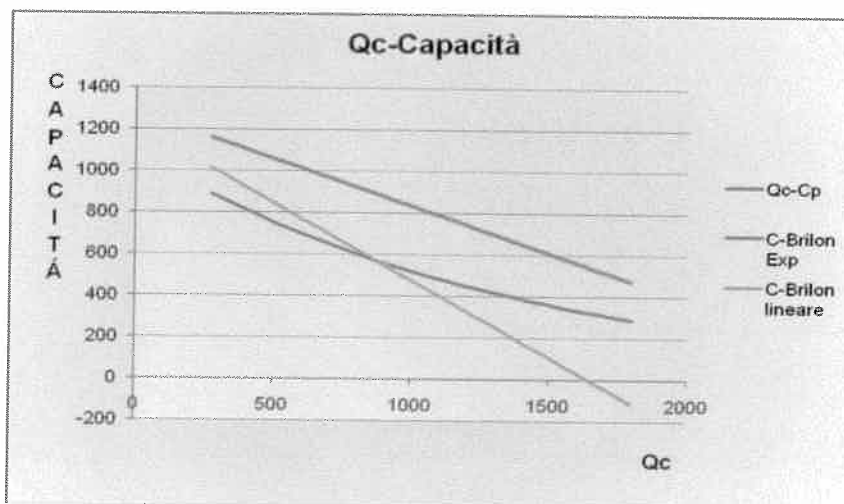
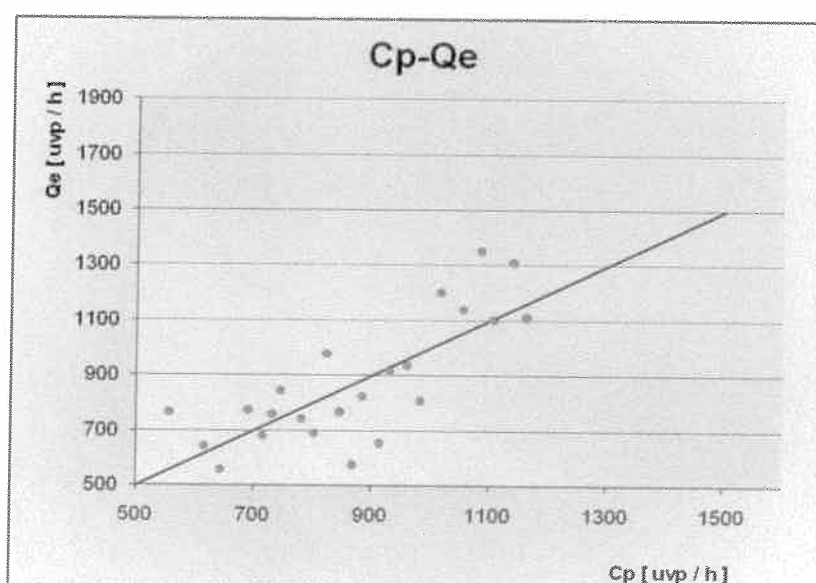


Diagramma 5 –  $Q_c$  - Capacità

Una volta compiuta la taratura, per eseguire un primo controllo sull'attendibilità dei risultati ottenuti, abbiamo costruito i diagrammi di performance che presentano in ascissa i valori reali di capacità e in ordinata quelli predetti dai modelli tarati. Come si può osservare dal diagramma 6, i punti si distribuiscono omogeneamente e senza troppa dispersione nei pressi della bisettrice confermando, dunque, l'esito positivo della taratura.





Successivamente sono stati analizzati i residui, intesi come la differenza tra la capacità predetta  $C_p$  dal modello da noi individuato e la capacità osservata  $C_o$  dall'elaborazione dei dati, mediante la procedura CURE (CUMulative REsiduals = Residui Cumulativi), risulta molto utile.

Finora, si è visto che la capacità del singolo braccio di una rotatoria dipende fortemente, quale che sia la formulazione adottata per il calcolo, dai flussi circolanti all'anello in sua corrispondenza, questi ultimi, a loro volta, determinati dai flussi entranti dagli altri bracci.

Pertanto, i valori di capacità calcolati senza tenere conto dei flussi entranti dagli altri bracci, ma solo in base alla domanda di traffico al nodo, risultano, evidentemente non corretti.

A questo punto abbiamo riguardato nuovamente i video da noi registrati, per contare, in ogni  $\Delta T$ , il numero di veicoli in ingresso a ciascun braccio. In tal modo, per ogni  $\Delta T$ , abbiamo definito:

- le matrici O/D ;
- il vettore dei flussi d'ingresso,  $Q_e$ ;
- le matrici di percentuali di traffico,  $P(O/D)$ ;
- il vettore dei flussi circolanti all'anello,  $Q_c$ ;
- il vettore delle capacità, applicando il modello da noi individuato,  $C$ ;
- il vettore dell'intensità di traffico,  $\rho$ ;

si ricorda che per intensità di traffico, o grado di saturazione, di un ingresso  $i$ , si intende il rapporto  $\rho_i$  tra la domanda di traffico ad un ingresso,  $Q_{ei}$ , e la capacità  $C_i$  dello stesso.

Questo indice può assumere i seguenti valori:

- $<1$  se l'ingresso è sottosaturato;
- $=1$  se l'ingresso è saturato;
- $>1$  se l'ingresso è sovraturato;

laddove il braccio presentava un  $\rho >1$ , dal momento che per gli ingressi sovraturati i valori dei flussi entranti in rotatoria risultano pari a quelli di

capacità dei singoli accessi, il vettore dei flussi in ingresso,  $Q_e$ , calcolato precedentemente risulta evidentemente errato e pertanto si è innescata una procedura iterativa per la determinazione sia dei flussi entranti in rotatoria dal braccio sia dei relativi valori di capacità in caso di saturazione o sovrasaturazione di uno o più ingressi.

Di seguito si riporta un'applicazione della procedura appena illustrata:

O/D [uvp/h]	1	2	3	4
1	0	180	72	78
2	42	0	135	276
3	81	162	0	111
4	273	882	60	0

$Q_e$	330	453	354	1215
-------	-----	-----	-----	------

P(O/D) [uvp/h]	1	2	3	4
1	0.00	0.55	0.22	0.24
2	0.09	0.00	0.30	0.61
3	0.23	0.46	0.00	0.31
4	0.22	0.73	0.05	0.00

$Q_c$	1104	210	396	285
-------	------	-----	-----	-----

$C$	788	1192	1108	1158
-----	-----	------	------	------

$\rho$	0.42	0.38	0.32	1.05
	sottosat.	sottosat.	sottosat.	sovrasiat.

In corrispondenza del braccio 4,  $\rho > 1$  e quindi essendo sovrasiaturo si procede con il processo iterativo per calcolare il corretto vettore dei flussi in ingresso:

1° step

Per l'ingresso 1, si assume,  $Q_{c1}^{(1)} = 0$ ; si ricava

$$C_1^{(1)} = 1286 - 0.452Q_{c1}^{(1)} = 1286 - 0.452 \cdot 0 = 1286 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{e1}^{*(1)} = \min(C_1^{(1)}, Q_{e1}) = \min(1286, 330) = 330 \text{ uvp/h}$$

Tale portata in base alla matrice delle percentuali di traffico, si ripartisce in:

$$Q_{12}^{*(1)} = P_{12} \cdot Q_{e1}^{*(1)} = 0.55 \cdot 330 = 180 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{13}^{*(1)} = P_{13} \cdot Q_{e1}^{*(1)} = 0.22 \cdot 330 = 72 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{14}^{*(1)} = P_{14} \cdot Q_{e1}^{*(1)} = 0.24 \cdot 330 = 78 \text{ uvp/h}$$

Per l'ingresso 2 si calcola

$$Q_{c2}^{*(1)} = Q_{13}^{*(1)} + Q_{14}^{*(1)} = 72 + 78 = 150 \text{ uvp/h}$$

$$C_2^{(1)} = 1287 - 0.452 \cdot Q_{c2}^{*(1)} = 1287 - 0.452 \cdot 150 = 1219 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{e2}^{*(1)} = \min(C_2^{(1)}, Q_{e2}) = \min(1219, 453) = 453 \text{ uvp/h}$$

tale portata, in base alla matrice delle percentuali di traffico, si ripartisce in:

$$Q_{21}^{*(1)} = P_{21} \cdot Q_{e2}^{*(1)} = 0.09 \cdot 453 = 42 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{23}^{*(1)} = P_{23} \cdot Q_{e2}^{*(1)} = 0.30 \cdot 453 = 135 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{24}^{*(1)} = P_{24} \cdot Q_{e2}^{*(1)} = 0.61 \cdot 453 = 276 \text{ uvp/h}$$

per l'ingresso 3 si calcola

$$Q_{c3}^{*(1)} = Q_{14}^{*(1)} + Q_{21}^{*(1)} + Q_{24}^{*(1)} = 78 + 42 + 276 = 396 \text{ uvp/h}$$

$$C_3^{(1)} = 1286 - 0.452Q_{c3}^{*(1)} = 1286 - 0.452 \cdot 396 = 1108 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{e3}^{*(1)} = \min(C_3^{(1)}, Q_{e3}) = \min(1108, 354) = 354 \text{ uvp/h}$$

per l'ingresso 4 si calcola

$$Q_{c4}^{*(1)} = Q_{21}^{*(1)} + Q_{31}^{*(1)} + Q_{32}^{*(1)} = 42 + 81 + 162 = 285 \text{ uvp/h}$$

$$C_4^{(1)} = 1286 - 0.452Q_{c4}^{(1)} = 1286 - 0.452 \cdot 285 = 1158 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{e4}^{*(1)} = \min(C_4^{(1)}, Q_{e4}) = \min(1158, 1215) = 1158 \text{ uvp/h}$$

tale portata si ripartisce in:

$$Q_{41}^{*(1)} = P_{41} \cdot Q_{e4}^{*(1)} = 0.22 \cdot 1158 = 260 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{42}^{*(1)} = P_{42} \cdot Q_{e4}^{*(1)} = 0.73 \cdot 1158 = 841 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{43}^{*(1)} = P_{43} \cdot Q_{e4}^{*(1)} = 0.05 \cdot 1158 = 57 \text{ uvp/h}$$

I valori così ottenuti si sono riportati nelle seguenti tabelle riassuntive:

Braccio	$[Q_{ci}^{(1)}]$	$[C_i^{(1)}]$	$[Q_{ei}^{*(1)}]$
1	0	1287	330
2	150	1219	453
3	396	1108	354
4	285	1158	1158

D \ O	1	2	3	4
1	0	180	72	78
2	42	0	135	276
3	81	162	0	111
4	260	841	57	0

I calcoli procedono in maniera iterativa; in particolare, si ricorda che, come sottolineato in precedenza, il flusso circolante  $Q_{ci}^{(k)}$  in corrispondenza del generico braccio "i" al passo (k) delle procedure, è stato calcolato utilizzando, come valori delle portate che possono entrare nello schema dagli altri rami, quelli "più aggiornati" derivanti dai precedenti passi di calcolo.

### 2° step

Per l'ingresso 1 si ottiene

$$Q_{c1}^{*(2)} = Q_{42}^{*(1)} + Q_{43}^{*(1)} + Q_{32}^{*(1)} = 841 + 57 + 162 = 1060 \text{ uvp/h}$$

$$C_1^{(2)} = 1286 - 0.452Q_{c1}^{(2)} = 1286 - 0.452 \cdot 1060 = 808 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{e1}^{*(2)} = \min(C_1^{(2)}, Q_{e1}) = \min(808, 330) = 330 \text{ uvp/h}$$