

**FACOLTA' DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE**

DICAM

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambiente, e dei Materiali

Tesi di Laurea in Teoria e Tecnica della Circolazione

**Asse Sud Ovest – Prati di Caprara in Bologna: studio
dell'intersezione su via Emilia Ponente e della rotatoria
Granatieri di Sardegna**

**Presentata da:
ANDREAS PALEOLOGOS**

**RELATORE:
Chiar.mo Prof. Ing.
GIANNINO PRAITONI**

Anno accademico 2010-2011

Sessione III

Parole chiave:

Rotatoria

Via Emilia

Ospedale

Asse Sud – Ovest

Semaforo

INDICE

INTRODUZIONE	5
---------------------------	----------

CAPITOLO 1

IL SISTEMA STRADALE BOLOGNESE

1.1 I PRINCIPALI ASSI DI PENETRAZIONE E SCORRIMENTO DELLA CITTA' DI BOLOGNA	7
1.2 IL SISTEMA DELLA VIABILITA' NELLA ZONA NORD – OVEST DI BOLOGNA : I NODI IN STUDIO	10

CAPITOLO 2

STUDIO DELLA ROTATORIA GRANATIERI DI SARDEGNA

2.1 LE CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA ROTATORIA	13
2.2 I FLUSSI DI TRAFFICO	15
2.3 STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO	22

CAPITOLO 3

INTERSEZIONE VIA EMILIA PONENTE – VIA PRATI DI CAPRARA – ASSE SUD OVEST

3.1 CARATERISTICHE GEOMETRICHE E DI CONTROLLO DELL' INTERSEZIONE	31
3.2 I FLUSSI DI TRAFFICO	37
3.3 STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO	43

CAPITOLO 4

IPOTESI DI INCREMENTO DEL TRAFFICO SULLA ROTATORIA E OTTIMIZZAZIONE DEL CICLO SEMAFORICO

4.1	DEFINIZIONE DELLA NUOVA MATRICE O-D	48
4.2	STIMA DEL NUOVO LIVELLO DI SERVIZIO DELLA ROTATORIA	51
4.3	STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO DELLA VIA EMILIA ATTRAVERSO L' OTTIMIZZAZIONE HCS 2000	59
4.4	CONFRONTO DEI RISULTATI	64
	CONCLUSIONI	71

ALLEGATO I

	CLASSIFICAZIONE DELLE STRADE	74
--	---	-----------

ALLEGATO II

	ROTATORIA GRANATIERI: QUADRO DEI FLUSSI RILEVATI	78
--	--	-----------

ALLEGATO III

	INTERSEZIONE ASSE SUD/OVEST –CAPRARA SUD : QUADRO DEI FLUSSI RILEVATI	90
--	--	-----------

ALLEGATO IV

IL CONCETTO DI LIVELLO DI SERVIZIO

1	- CARATTERISTICHE GENERALI DEL FLUSSO STRADALE ...	100
2	- DEFINIZIONI E CONDIZIONI LIMITI	103

3 - METODOLOGIA DI STUDIO	105
4 - CONDIZIONI DI FLUSSO ININTERROTTO	106
5 - CONDIZIONI DI FLUSSO INTERROTTO	108
6 - STUDIO DELLE INTERSEZIONI A ROTATORIA	110
7 - GEOMETRIA DELLA ROTATORIA	113
8 - ANALISI DELLA CAPACITA'	114
BIBLIOGRAFIA	117

***“I sistemi di mobilità per il corpo urbano sono
come il sistema circolatorio per il corpo umano: si
possono avere i polmoni migliori del mondo o le
ossa più robuste, ma senza la circolazione si
blocca tutto”***

INTRODUZIONE

I sistemi di trasporto ed in particolare quello stradale, il cui crescente grado di articolazione non è altro che il tentativo di assurgere alle reali esigenze di movimento, è indubbiamente l' espressione più appariscente e rappresentativa di una società ad elevato grado di sviluppo.

Il fenomeno circolatorio che in esso si sviluppa assume forme complesse e variegate, a volte anche drammatiche nelle aree urbane e metropolitane ad alta densità insediativa, a fronte della dimensione raggiunta dalla motorizzazione privata da un lato, e per la scarsità delle "risorsa" – strada e sosta dall' altro, determinando così conseguenze a tutti note quali congestione, inquinamento e degrado ambientale. Tale fenomeno, costituito dall' insieme di movimento di persone, di merci, di veicoli, si manifesta con connotazioni qualitative e quantitative differenziate, coinvolgendo in maniera più o meno marcata varie componenti fisiche, sociali, economiche ed ambientali, rendendosi così importante oggetto di studio.

Le più recenti tendenze di politica economica nazionale in merito alle infrastrutture di trasporto fanno ormai reputare che il miglioramento del livello di mobilità sulla viabilità autostradale e ordinaria, o, quanto meno, l' adeguamento alla mutata domanda di relazioni stradali, si dovrà perseguire il più delle volte con interventi modesti che sfruttino al massimo le attrezzature viarie esistenti, anziché creare altre totalmente nuove.

Lo studio che si sta per affrontare è rivolto alla valutazione dello stato circolatorio attuale della grande viabilità Ovest di Bologna e alle determinazione del Livello di Servizio, ovvero l' insieme delle condizioni operative dovute al concomitante effetto dei noti fattori (Velocità e tempo di percorrenza, limitazioni di traffico e conseguenti attese, libertà di manovra, sicurezza, comodità e rispondenza alle esigenze di guida, economia.

Il Piano Generale del Traffico Urbano (PGTU) è lo strumento di pianificazione del traffico di breve periodo, finalizzato al "miglioramento delle condizioni della circolazione e della sicurezza stradale, la riduzione

dell'inquinamento acustico ed atmosferico ed il risparmio energetico, in accordo con gli strumenti urbanistici vigenti e con i piani di trasporto nel rispetto dei valori ambientali" (art. 36 del Codice della Strada). L'orizzonte temporale del PGTU è di 2-4 anni e quindi vengono demandate ad altri piani di più ampio respiro (ad esempio il Piano Strutturale Comunale) le valutazioni sui benefici derivanti dalle grandi opere infrastrutturali di trasporto collettivo (Metrotranvia, Nuova Stazione Ferroviaria, Filovia a guida vincolata) i cui effetti sulla mobilità rispondono ad altre tempistiche. Nella definizione del Piano sono stati individuati i principali campi di criticità (inquinamento, incidentalità, congestione) che quotidianamente affliggono la vita dei cittadini, peggiorandone salute, sicurezza e qualità della vita. Dall'analisi di tali criticità si è passati alla definizione degli obiettivi da raggiungere e alla individuazione delle azioni in grado di dare risposte efficaci alle diverse problematiche.

Le azioni del PGTU sono finalizzate ad un miglioramento della qualità della vita di tutti i cittadini con interventi integrati e mirati a garantire un'accessibilità sostenibile e diffusa in tutte le aree della città, in una logica di incremento del trasporto pubblico e della ciclabilità e di tutela delle zone a maggior pregio ambientale e architettonico.

Quanto sopra premesso lo studio in oggetto si articola come segue:

- Analisi della viabilità generale di Bologna ed in particolare della parte collocata a nord-ovest della via Emilia
- Esame delle caratteristiche geometriche e di traffico della rotatoria Granatieri di Sardegna e definizione delle caratteristiche funzionali tramite il LOS
- Esame delle caratteristiche geometriche, di traffico e di controllo dell'intersezione via Emilia – Asse Sud-Ovest e conseguente valutazione del LOS.

CAPITOLO 1

IL SISTEMA STRADALE BOLOGNESE

1.1 I PRINCIPALI ASSI DI PENETRAZIONE E SCORRIMENTO DELLA CITTA' DI BOLOGNA

La città di Bologna rappresenta uno dei più importanti nodi a livello nazionale per i grandi sistemi di trasporto.

La confluenza di diversi tronchi autostradali interagenti con la città per la presenza della Tangenziale, fa di Bologna un punto nevralgico di collegamento, come si può constatare dalla fig. 1.1

Il raccordo autostradale 1 (RA1 secondo la numerazione ANAS), meglio noto come Tangenziale di Bologna o complanare, è un'arteria costruita in complanare all'A14 e classificata come autostrada senza pedaggio; passando a nord dell'area urbana di Bologna, congiunge le zone di Casalecchio di Reno e di San Lazzaro di Savena.

La Tangenziale o raccordo autostradale (in quanto collegamento alternativo di raccordo tra le autostrade A1 Milano – Napoli, A13 Bologna – Padova e A14 Bologna – Bari) comprende anche una diramazione che staccandosi dall'asse principale nei pressi di Borgo Panigale, la collega con l'A14 in zona “la Pioppa“. Il flusso del traffico che interessa questa Tangenziale è di circa 90.000 attraversamenti al giorno e si estende per 25,5 Km lungo i quali sono presenti 19 accessi che collegano l'agglomerato urbano.

Oltre a queste arterie di grande viabilità interregionale di accesso a Bologna, esistono una serie di assi di penetrazione alla città che sono più rivolti ad un flusso interprovinciale.

Nella zona ovest della città le principali vie di accesso sono costituite da: via Emilia Ponente, dalla Statale Bazzanese e dall' Asse dell'89 – Asse Sud Ovest.

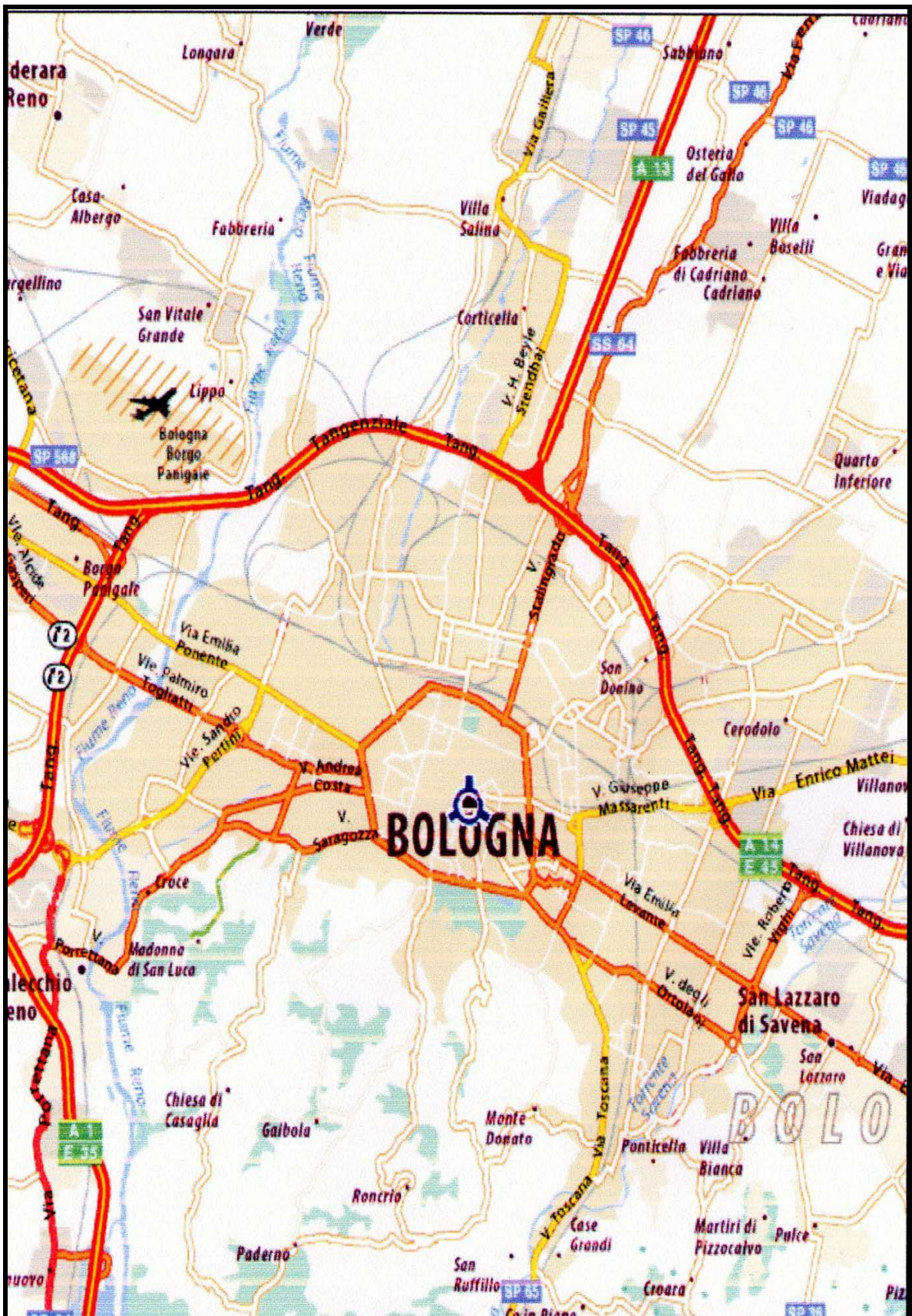
Per quanto riguarda la parte nord, esistono diversi assi di penetrazione : via San Donato che collega Bologna ai comuni della Bassa Pianura Padana, via Stalingrado che diventa via Ferrarese e collega il Capoluogo Emiliano

con la zona di Ferrara, via Matteotti e via Zanardi - importanti collegamenti con alcuni comuni dell'interland.

Nella zona Est le principali arterie sono: la Statale Emilia Levante, che taglia l'intero agglomerato urbano dividendo a ovest via Emilia Ponente e la Statale San Vitale.

Infine, per la zona Sud, le vie di accesso sono: la Statale Della Futa, che diventa in ambito cittadino via Toscana e la Statale Porrettana.

Fig. 1.1 - Planimetria della rete viaria Bolognese



1.2 IL SISTEMA DELLA VIABILITA' NELLA ZONA NORD – OVEST DI BOLOGNA : I NODI IN STUDIO

Nella zona Nord – Ovest (vedi fig. 1.2) sono presenti diverse attività residenziali e produttive nonché importanti poli di generazione/attrazione di movimenti – in primo luogo l’Ospedale Maggiore , l’Aeroporto ed il nuovo insediamento del Lazzaretto, tali da influenzare fortemente i flussi di traffico sulla viabilità locale.

E’ possibile dunque individuare delle strade di traffico che possiamo definire “residenziali” che, delimitate dalle principali direttrici di afflusso/deflusso della città, si svuotano al mattino per poi riempirsi la sera. I movimenti dei lavoratori al mattino si svolgono prevalentemente tra le 07:00 e le 09:00 per raggiungere le strade limitrofe o la viabilità primaria, in modo da dirigersi verso le zone industriali.

Nel tardo pomeriggio il rientro avviene tra le 17:00 e le 21:00 registrando un picco di flussi tra le 18:30 e le 19:30.

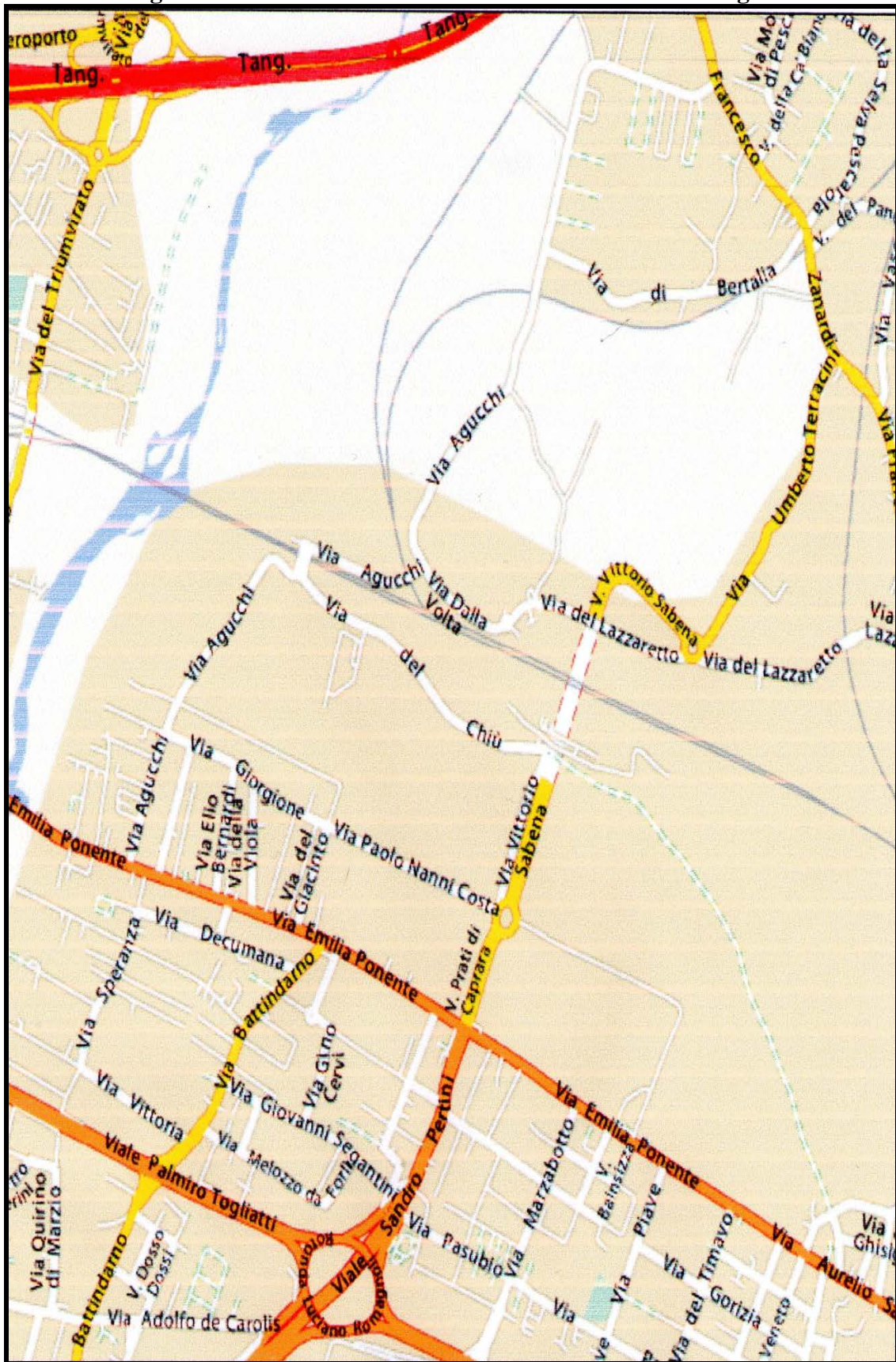
La zona in esame è caratterizzata da una tipologia di strade fortemente diversificata il che ha portato ad una inevitabilmente complessa gestione dei flussi.

Entrando nello specifico, si può notare che due arterie estremamente importanti, quali l’Asse Sud – Ovest e via Emilia Ponente, si intersecano tra di loro perpendicolarmente quasi alle porte della città, per cui si è reso necessario riservare via Emilia Ponente, direzione centro, da tale intersezione in poi, al solo trasporto pubblico .I flussi diretti verso la parte Sud – Ovest della città sono stati così dirottati su strade quali Viale Togliatti – Viale Gandhi – via Sabotino, creando così l’asse di penetrazione, di cui sopra .Quelli diretti verso la parte nord della città, invece, vengono lasciati scorrere lungo la strada di quartiere Prati di Caprara per poi allacciarsi al tunnel di Viale Vittorio Sabena (tunnel Ravone), che porta su via Terracini, e riversarsi poi su via Zanardi.

La stessa via Zanardi, però, rappresenta come un’altra importante arteria tra l’interland Nord di Bologna e il centro della città nonché la stazione ferroviaria.

Oggetto di questo studio sarà quello di verificare il grado di efficienza di due intersezioni nell'ambito della viabilità della zona, costituenti punti nevralgici della rete e precisamente la rotonda Granatieri di Sardegna (su cui confluiscono cinque rami) e l'intersezione fra l' Asse Sud- Ovest e via Emilia Ponente: tale verifica avviene attraverso la stima del *Livello di Servizio* (LOS: Level Of Service) secondo la metodologia proposta da *Highway Capacity Manual* (HCM) utilizzando appositi *software* (SIDRA e HCS).

Fig. 1.2 - Planimetria della viabilità Nord / Ovest di Bologna



CAPITOLO 2

STUDIO DELLA ROTATORIA GRANATIERI DI SARDEGNA

2.1 LE CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA ROTATORIA

La rotonda che ci apprestiamo a studiare, realizzata contestualmente al tunnel Ravone, imponente infrastruttura di collegamento dell' Asse Sud Ovest con Via del Lazzaretto, e caratterizzata da dimensioni geometriche non eccessivamente notevoli, avendo un'area di circa 4300 metri quadrati.

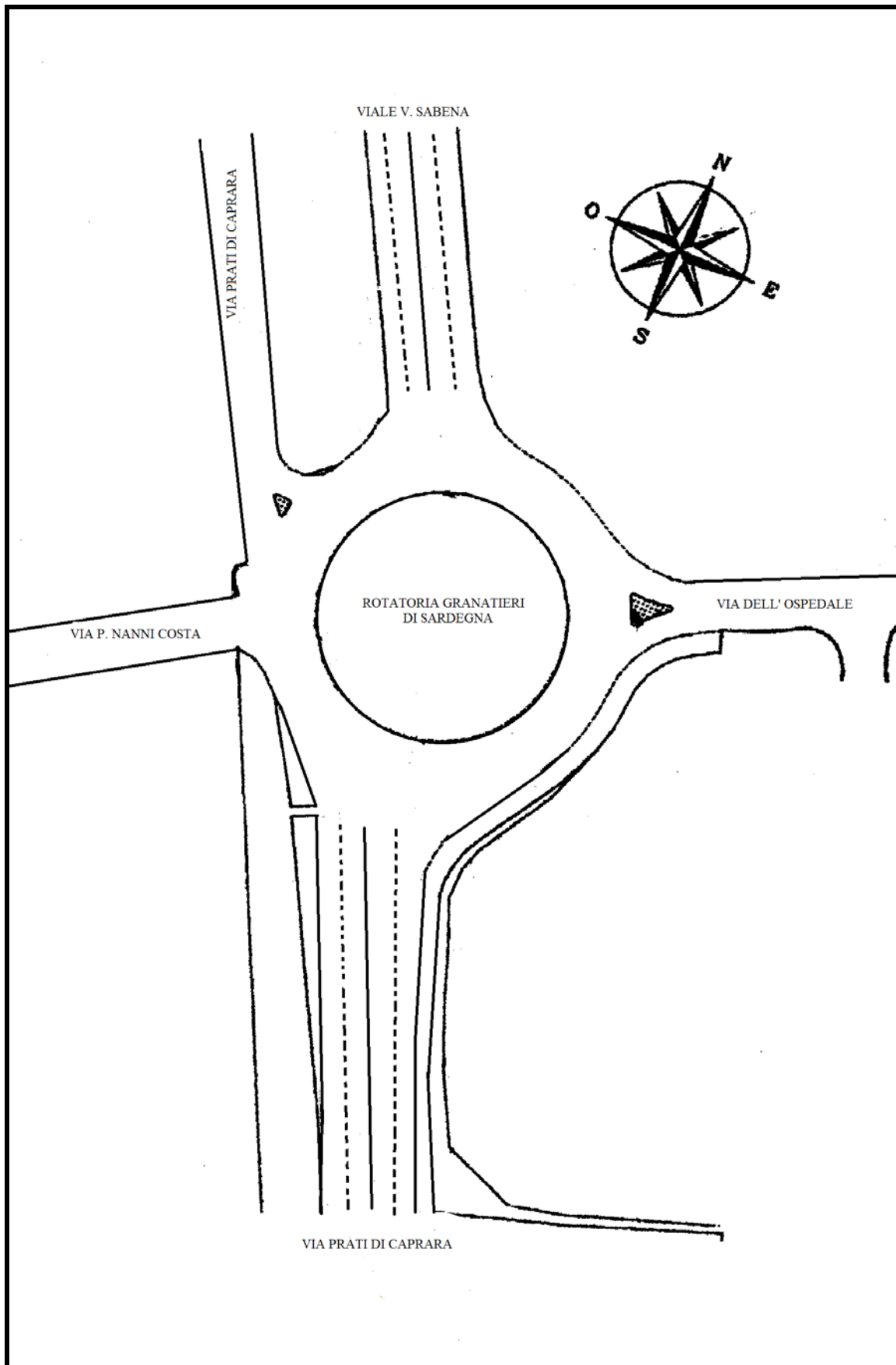
La forma è circolare, con diametro esterno (D_e) di 74 metri, diametro interno (D_i) di 52 metri e anello con larghezza 11 metri compresa la banchina complanare, (vedi fig. 2.1).

In essa confluiscono quattro tronchi stradali classificabili come strade di scorrimento e di quartiere:

- **Da Nord – Viale Vittorio Sabena** – composta da due carreggiate separate da spartitraffico, ognuna con due corsie per senso di marcia, con un ingombro complessivo di 20 metri;
- **Da Ovest – Via P. Nanni Costa** – a semplice carreggiata con una corsia per senso di marcia e ingombro complessivo di 8 metri;
- **Da Sud – Via Prati di Caprara** – composta da due carreggiate separate da spartitraffico, ognuna con due corsie per senso di marcia, con una larghezza complessiva di 18 metri;
- **Da Est – Via dell' Ospedale** – a semplice carreggiata con una corsia per senso di marcia, con una larghezza complessiva di 10 metri;
- **Da Nord Ovest – Via Prati di Caprara** – composta da due corsie, una per senso di marcia, con ingombro complessivo di 8 metri;

Di seguito è riportiamo un' estratto della Carta Tecnica in scala 1:2000.

Fig. 2.1- PLANIMETRIA ROTATORIA GRANATIERI DI SARDEGNA



2.2 I FLUSSI DI TRAFFICO

Per ottenere dati statisticamente attendibili, sono stati effettuati dei rilevamenti mediante l'uso di una videocamera installata in loco che ci ha permesso successivamente di esaminare le riprese svolte, così da ottenere un preciso conteggio dei veicoli.

Nelle tabelle di Allegato II sono stati riportati i risultati dettagliati dei rilevamenti effettuati: volumi di traffico e le distribuzioni delle svolte, con una suddivisione in motocicli, veicoli leggeri e veicoli pesanti. Si noti che si è adottata una scansione temporale di 15' per ottenere il *tasso di flusso*, dato di input per le successive stime.

I dati riportati in Allegato II sono stati sintetizzati nelle seguenti tabelle riassuntive:

- **Tab. 2.1 – Flussi di traffico ora di punta del mattino (7.30 - 8.30)**
- **Tab. 2.2 - Matrice O/D ora di punta del mattino (7.30 – 08.30)**
- **Tab. 2.3 – Flussi di traffico (8.30 –9.00)**
- **Tab. 2.4 - Matrice O/D (8.30 – 9.00)**
- **Tab. 2.5 – Flussi di traffico ora di punta del pomeriggio (18.30-19.30)**
- **Tab. 2.6 - Matrice O/D ora di punta del pomeriggio (18.30 – 19.30)**

Come si potrà notare, dalle 07:30 – 08:30 l'intersezione è interessata da un volume di traffico pari a 3780 veicoli, mentre dalle 18:30 alle 19:30 da un movimento di 3667 veicoli.

Le maggiori correnti di traffico si registrano nella manovra di attraversamento in direzione Sud – Nord, raggiungendo 1140 veicoli nell'ora di punta del mattino (1116 veicoli in quella del pomeriggio) su Via Prati di Caprara direzione Nord e 840 veicoli nell'ora di punta del mattino (838 in quella del pomeriggio) su Viale Sabena direzione Sud.

Nelle Tabelle seguenti vengono riportati i rilevamenti, i flussi di traffico e la Matrice Origine/Destinazione per l'ora di punta del mattino e del pomeriggio rispettivamente.

La presenza di veicoli pesanti si assesta intorno al 2% sia per il mattino che per il pomeriggio.

Per quanto riguarda infine il flusso pedonale, lo si può considerare praticamente assente.

Tab. 2.1 – Flussi di traffico ora di punta mattino

PROVENIENZA	DIREZIONE	DIREZIONE	DIREZIONE	DIREZIONE
Via P. di Caprara Sud	Via dell'ospedale	V.le V. Sabena	Via P. di Caprara Nord	Via N. Costa
Ore	Auto HV moto	Auto HV moto	Auto HV moto	Auto HV moto
07:30 – 08:30	430 5	1133 7	112 4	130 3

PROVENIENZA	DIREZIONE	DIREZIONE	DIREZIONE	DIREZIONE
Via dell' Ospedale	V.le V. Sabena	V.le P di Caprara Nord	Via N. Costa	Via P. di Caprara Sud
Ore	Auto HV moto	Auto HV moto	Auto HV moto	Auto HV moto
07:30 – 08:30	85 7	46 2	36 3	73 1

PROVENIENZA	DIREZIONE	DIREZIONE	DIREZIONE	DIREZIONE
V.le V. Sabena	Via P. di Caprara Nord	Via N. Costa	Via P. di Caprara Sud	Via dell' Ospedale
Ore	Auto HV moto	Auto HV moto	Auto HV moto	Auto HV moto
07:30 – 08:30	63 0	147 0	834 6	74 3

PROVENIENZA	DIREZIONE	DIREZIONE	DIREZIONE	DIREZIONE
Via N. Costa	Via P. di Caprara Sud	Via dell' Ospedale	V.le V. Sabena	Via P. di Caprara Nord
Ore	Auto HV moto	Auto HV moto	Auto HV moto	Auto HV moto
07:30 – 08:30	76 1	43 0	346 1	40 0

PROVENIENZA	DIREZIONE	DIREZIONE	DIREZIONE	DIREZIONE
Via P. di Caprara Nord	Via N. Costa	Via P di Caprara Sud	Via dell' Ospedale	V.le V. Sabena
Ore	Auto HV moto	Auto HV moto	Auto HV moto	Auto HV moto
07:30 – 08:30	8 1	56 1	21 0	51 1

Tab – 2.2 Matrice O/D (07:30 – 08:30)

Matrice O/D	Via P. di Caprara Sud	Via dell' Ospedale	V.le V. Sabena	Via P. Caprara Nord	Via N. Costa	TOTALE (veh./h)
Via P. di Caprara Sud	0	435 (1%)	1140 (1%)	147 (3%)	133 (2%)	1855 (1%)
Via dell' Ospedale	74 (1%)	0	92 (7%)	48 (4%)	39 (8%)	253 (5%)
V.le V. Sabena	840 (1%)	77 (3%)	0	63 (0%)	147 (0%)	1127 (1%)
Via P. Caprara Nord	57 (2%)	21 (0%)	51 (2%)	0	9 (11%)	138 (2%)
Via N. Costa	77 (1%)	43 (0%)	247 (0%)	40 (0%)	0	407 (0%)
TOTALE (veh./h)	1048	576	1530	298	328	3780 (2%)

Nelle parentesi sono riportati le percentuali dei veicoli pesanti

Tab. 2.3 - Flussi di Traffico 08:30 – 09:00

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via P. di Caprara Sud	Via dell'ospedale		V.le V. Sabena		Via P. di Caprara Nord		Via N. Costa	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto		moto	
08:30 – 09:00	214	3	462	4	57	1	60	0

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via dell' Ospedale	V.le V. Sabena		V.le P di Caprara Nord		Via N. Costa		Via P. di Caprara Sud	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto		moto	
08:30 – 09:00	34	3	24	2	15	0	38	1

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
V.le V. Sabena	Via P. di Caprara Nord		Via N. Costa		Via P. di Caprara Sud		Via dell' Ospedale	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto		moto	
08:30 – 09:00	67	0	116	0	403	1	25	1

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via N. Costa	Via P. di Caprara Sud		Via dell' Ospedale		V.le V. Sabena		Via P. di Caprara Nord	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto		moto	
08:30 – 09:00	47	1	25	0	100	3	15	0

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via P. di Caprara Nord	Via N. Costa		Via P di Caprara Sud		Via dell' Ospedale		V.le V. Sabena	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto		moto	
08:30 – 09:00	4	0	22	1	11	0	26	1

Tab. 2.4 - Matrice O-D (08:30 – 09:00)

Matrice O/D	Via P. di Caprara Sud	Via dell' Ospedale	V.le V. Sabena	Via P. Caprara Nord	Via N. Costa	TOTALE
Via P.di Caprara Sud	0	217 (1%)	466 (1%)	58 (2%)	60 (0%)	801 (1%)
Via dell' Ospedale	39 (2%)	0	37 (7%)	26 (7%)	15 (0%)	117 (5%)
V.le V. Sabena	404 (0%)	26 (4%)	0	67 (0%)	116 (0%)	613 (0%)
Via P. Caprara Nord	23 (4%)	11 (0%)	27 (4%)	0	4 (0%)	65 (3%)
Via N. Costa	48 (2%)	25 (0%)	103 (3%)	15 (0%)	0	191 (2%)
TOTALE	514	279	633	166	195	1787(1%)

Nelle parentesi sono riportate le percentuali dei veicoli pesanti

Tab. 2.5 – Flussi di traffico ora di punta pomeriggio

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via P. di Caprara Sud	Via dell'ospedale		V.le V. Sabena		Via P. di Caprara Nord		Via N. Costa	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto		moto	
18:30 – 19:30	444	2	1100	16	110	5	119	6

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via dell' Ospedale	V.le V. Sabena		V.le P di Caprara Nord		Via N. Costa		Via P. di Caprara Sud	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto		moto	
18:30 – 19:30	74	6	27	1	22	1	62	3

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
V.le V. Sabena	Via P. di Caprara Nord		Via N. Costa		Via P. di Caprara Sud		Via dell' Ospedale	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto		moto	
18:30 – 19:30	27	3	191	6	827	11	108	6

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via N. Costa	Via P. di Caprara Sud		Via dell' Ospedale		V.le V. Sabena		Via P. di Caprara Nord	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto		moto	
18:30 – 19:30	97	5	70	4	195	5	10	0

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via P. di Caprara Nord	Via N. Costa		Via P di Caprara Sud		Via dell' Ospedale		V.le V. Sabena	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto		moto	
18:30 – 19:30	14	1	30	2	19	1	35	2

Tab. 2.6 – Matrice O-D (18:30 – 19:30)

Matrice O/D	Via P. di Caprara Sud	Via dell' Ospedale	V.le V. Sabena	Via P. Caprara Nord	Via N. Costa	TOTALE (veh./h)
Via P. di Caprara Sud	0	446 (0%)	1116 (1%)	115 (4%)	125 (5%)	1802 (2%)
Via dell' Ospedale	65 (4%)	0	80 (7%)	28 (3%)	23 (4%)	196 (6%)
V.le V. Sabena	838 (1%)	114 (5%)	0	30 (10%)	197 (3%)	1179 (2%)
Via P. Caprara Nord	32 (6%)	20 (5%)	37 (5%)	0	15 (6%)	104 (5%)
Via N. Costa	102 (5%)	74 (5%)	200 (2%)	10 (0%)	0	386 (4%)
TOTALE (veh./h)	1037	654	1433	183	360	3667(2%)

Nelle parentesi sono riportate le percentuali dei veicoli pesanti

2.3 STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO

La stima che abbiamo effettuato si basa essenzialmente sulla teoria del Gap Acceptance Model e che fa riferimento sia alla capacità che al ritardo medio per l'intera intersezione e per i singoli accessi. Tra le metodologie di questo tipo, che sono di derivazione **HCM**, vi è quella proposta dall'Australian Road Research Board e implementata nel software **SIDRA** (Signalized/Unsignalized Intersection Design and Research Aid) messo a punto da Rahmi Akcelik, che, in relazione ad una intersezione mediante rotatoria con due corsie di accesso e due sull'anello, fa riferimento ai sotto specificati elementi geometrici e funzionali ai fini della sua valutazione:

- **Corsia dominante**: corsia di un ramo di approccio di maggior flusso;
- **Corsia sub-dominante**: corsia con minor flusso (ipotizzando che gli utenti scelgano la corsia di destra o di sinistra del ramo di accesso secondo l'intenzione di uscire dal primo ramo o dai rami successivi);
- **Critical gap [tc]**: definisce il tempo minimo fra due veicoli in transito nell'anello, tale da consentire l'immissione ideale da parte di un veicolo in attesa sulla sezione d'entrata;
- **Follow up time [tf]**: definisce il tempo che intercorre tra l'entrata di due veicoli successivi, nel caso in cui entrambi usufruiscano dello stesso varco spazio temporale fra i veicoli percorrenti l'anello;
- **Min headway [tm]**: distanziamento temporale minimo fra veicoli della corrente circolare o spazio minimo fisicamente occupato dai veicoli rapportato alla velocità media del flusso (I parametri tc, tf, tm, differiscono fra corsia dominante e sub-dominante; dipendono dal flusso circolante e dalle caratteristiche geometriche della rotatoria).

Il **SIDRA** calcola anche:

- **Average Control Delay** o semplicemente **Delay [d]** cioè il ritardo medio che si articola in:
- **Stop line delay**, cioè il tempo che un utente spende prima in coda, poi sulla linea di arresto in attesa di un gap accettabile nel flusso

circolatorio;

- **Geometric delay**, (esclusivo delle rotatorie e dipendente dal raggio di deflessione) cioè il tempo che un veicolo, in assenza di conflitti, impiega per decelerare fino alla velocità di negoziazione e poi accelerare in corrispondenza dell'anello centrale;
- **Grado di saturazione v/c** dove v è il tasso di flusso relativo ad una certa manovra (di attestamento o di svolta) e c è la capacità del ramo o della corsia dedicata a tale manovra;
- **Lunghezza della coda** che rappresenta la massima lunghezza di coda con una probabilità del 5% di essere superata;
- **Livello di Servizio** che viene misurato dal ritardo medio [d] secondo quanto riportato dalla tabella seguente:

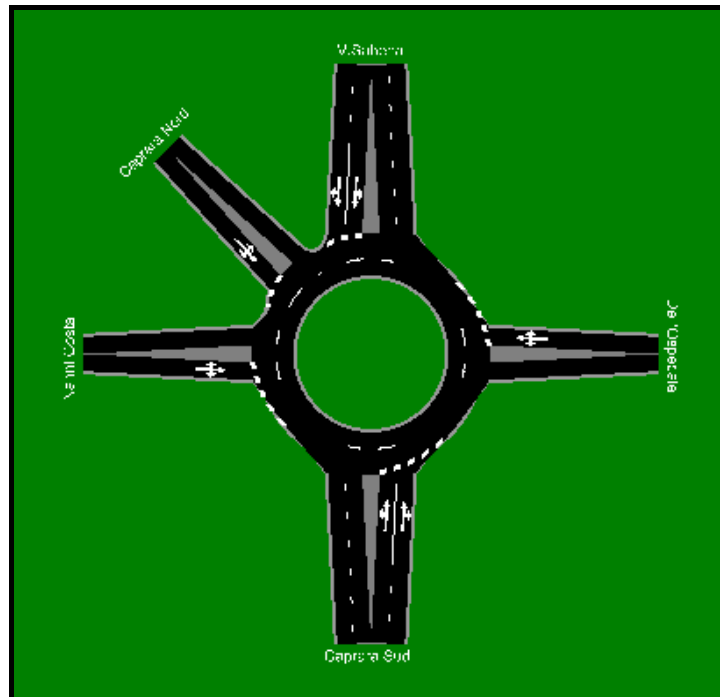
Livello di servizio	Ritardo medio
A	$d \leq 10$
B	$10 < d \leq 20$
C	$20 < d \leq 35$
D	$35 < d \leq 55$
E	$55 < d \leq 80$
F	$d > 80$

Il presente lavoro utilizza , il SIDRA, nel cui programma di calcolo sono stati inseriti i dati geometrici della rotatoria e i flussi registrati per l'ora di punta della mattina inserendo la matrice origine /destinazione.

L'inserimento suddetto ha permesso di ricavare le seguenti grandezze per l'ora di punta della mattina:

- **PIANTA DELLA ROTATORIA** (vedi fig. 2.2)
- **DEGREE OF SATURATION** (vedi fig. 2.3)
- **TOTAL CAPACITY** (vedi fig. 2.4)
- **CONTROL DELAY** (vedi fig.2.5)
- **GEOMETRIC DELAY**(vedi fig.2.6)
- **STOP LINE DELAY** (vedi fig.2.7)
- **APPROACH, CIRCULATING AND EXITING FLOWS** (vedi fig. 2.8)
- **LEVEL OF SERVICE** (vedi fig.2.9)
- **QUEUE** (vedi fig.2.10)

Fig. 2.2 - PIANTA DELLA ROTATORIA



Intersection Summary

	Vehicles	Persons
Demand Flow	3780 veh/h	5670 pers/h
Degree of Saturation	0.849	
Capacity (Total)	5991 veh/h	
95% Back of Queue (m)	107 m	
95% Back of Queue (veh)	15.1 veh	
Control Delay (Total)	12.01 veh-h/h	18.01 pers-h/h
Control Delay (Average)	11.4 s/veh	11.4 s/pers
Level of Service	LOS B	
Level of Service (Worst Movement)	LOS D	
Total Effective Stops	3071 veh/h	4606 pers/h
Effective Stop Rate	0.81 per veh	0.81 per pers
Travel Distance (Total)	2233.5 veh-km/h	3350.3 pers-km/h
Travel Distance (Average)	591 m	591 m
Travel Time (Total)	57.2 veh-h/h	85.8 pers-h/h
Travel Time (Average)	54.5 secs	54.5 secs
Travel Speed	39.1 km/h	39.1 km/h
Operating Cost (Total)	1490 \$/h	1490 \$/h
Fuel Consumption (Total)	233.6 L/h	
Carbon Dioxide (Total)	584.4 kg/h	
Hydrocarbons (Total)	0.972 kg/h	
Carbon Monoxide (Total)	39.59 kg/h	
NOX (Total)	1.188 kg/h	

Movement Summary



Title

Roundabout

Vehicle Movements

Mov No	Turn	Dem Flow (veh/h)	Cap (veh/h)	Deg of Satn (v/c)	Aver Delay (sec)	Level of Service	95% Back of Queue (m)	Eff. Stop Rate	Aver Speed (km/h)	Oper Cost (\$/h)
Caprara Sud										
1	L	133	2239	0.828	10.1	LOS B	107	0.92	40.3	708
1	T	1287	2239	0.828	10.1	LOS B	107	0.92	40.3	708
1	R	435	2239	0.828	10.1	LOS B	107	0.92	40.3	708
Approach		1855	2239	0.829	10.1	LOS B	107	0.92	40.3	708
Dell'Ospedale										
4	L	74	298	0.849	53.2	LOS D	59	1.66	22.4	171
4	T	87	298	0.849	53.2	LOS D	59	1.66	22.4	171
4	R	92	298	0.849	53.2	LOS D	59	1.66	22.4	171
Approach		253	298	0.848	53.2	LOS D	59	1.66	22.4	171
V.Sabena										
7	L	77	2239	0.503	3.2	LOS A	25	0.37	44.8	380
7	T	840	2239	0.503	3.2	LOS A	25	0.37	44.8	380
7	R	210	2239	0.503	3.2	LOS A	25	0.37	44.8	380
Approach		1127	2239	0.503	3.2	LOS A	25	0.37	44.8	380
Caprara Nord										
27	L	51	567	0.243	10.0	LOS A	9	0.78	40.9	55
27	T	78	567	0.243	10.0	LOS A	9	0.78	40.9	55
27	R	9	567	0.243	10.0	LOS A	9	0.78	40.9	55
Approach		138	567	0.243	10.0	LOS A	9	0.78	40.9	55
Nanni Costa										
10	L	287	648	0.628	14.9	LOS B	35	1.01	37.7	177
10	T	43	648	0.628	14.9	LOS B	35	1.01	37.7	177
10	R	77	648	0.628	14.9	LOS B	35	1.01	37.7	177
Approach		407	648	0.628	14.9	LOS B	35	1.01	37.7	177
All Vehicles		3780	5991	0.849	11.4	LOS B	107	0.81	39.1	1490

Fig. 2.3 - Degree of Saturation

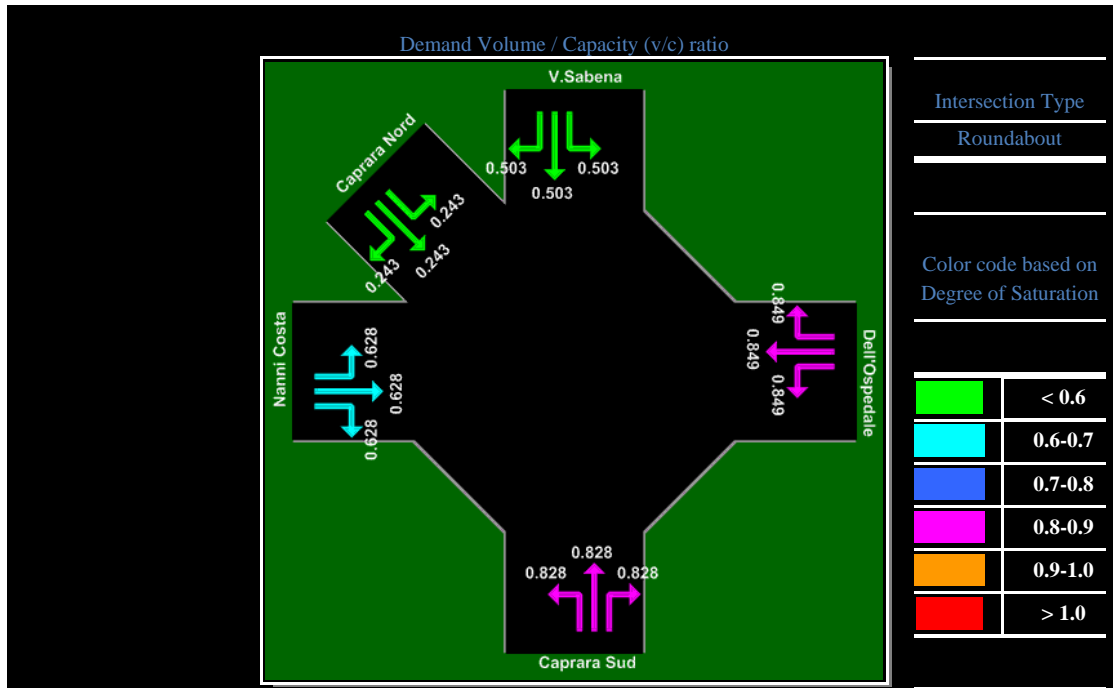


Fig. 2.4 - Total Capacity

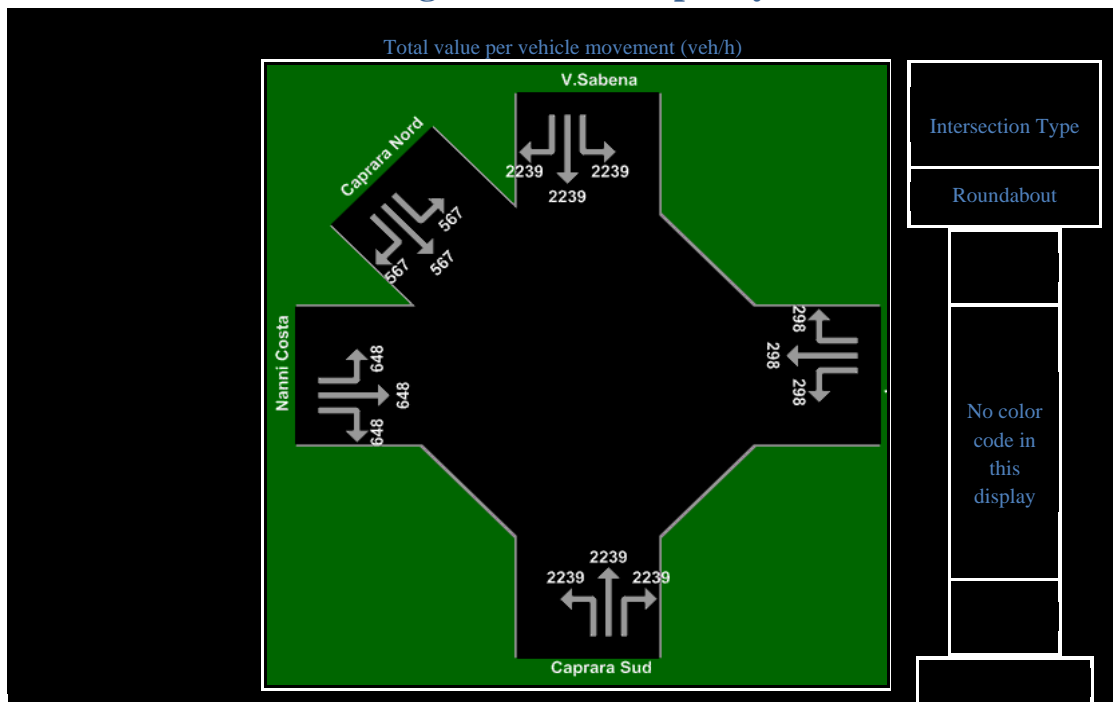


Fig. 2.5 - Control Delay /Average

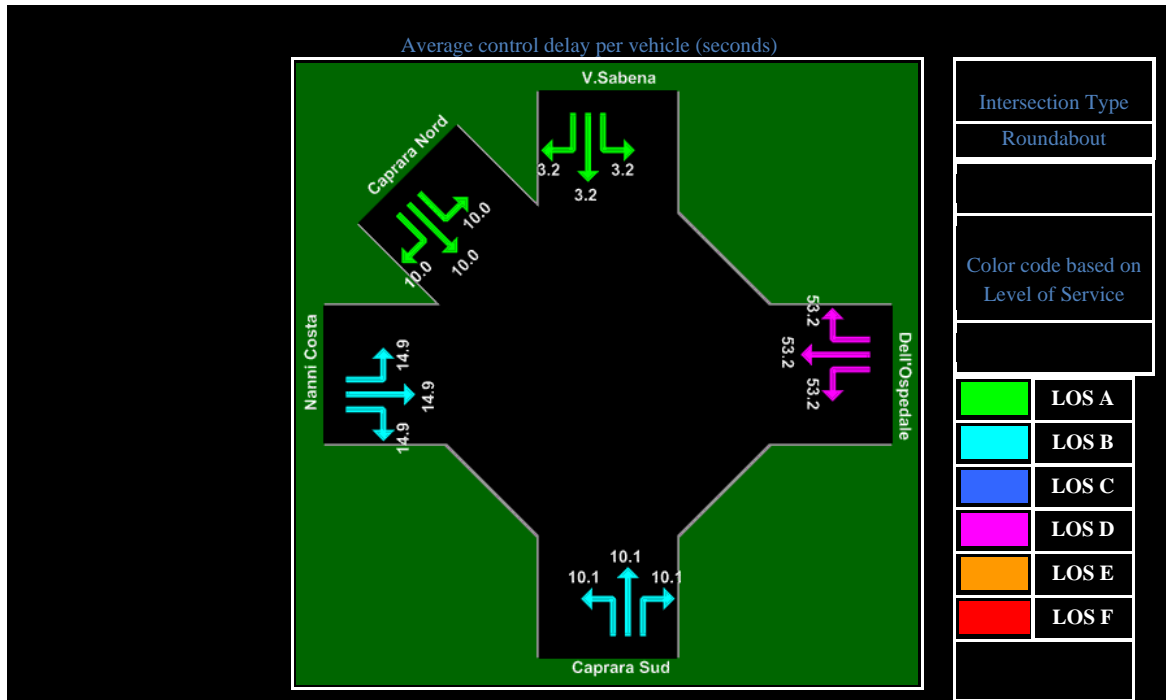


Fig. 2.6 - Geometric Delay

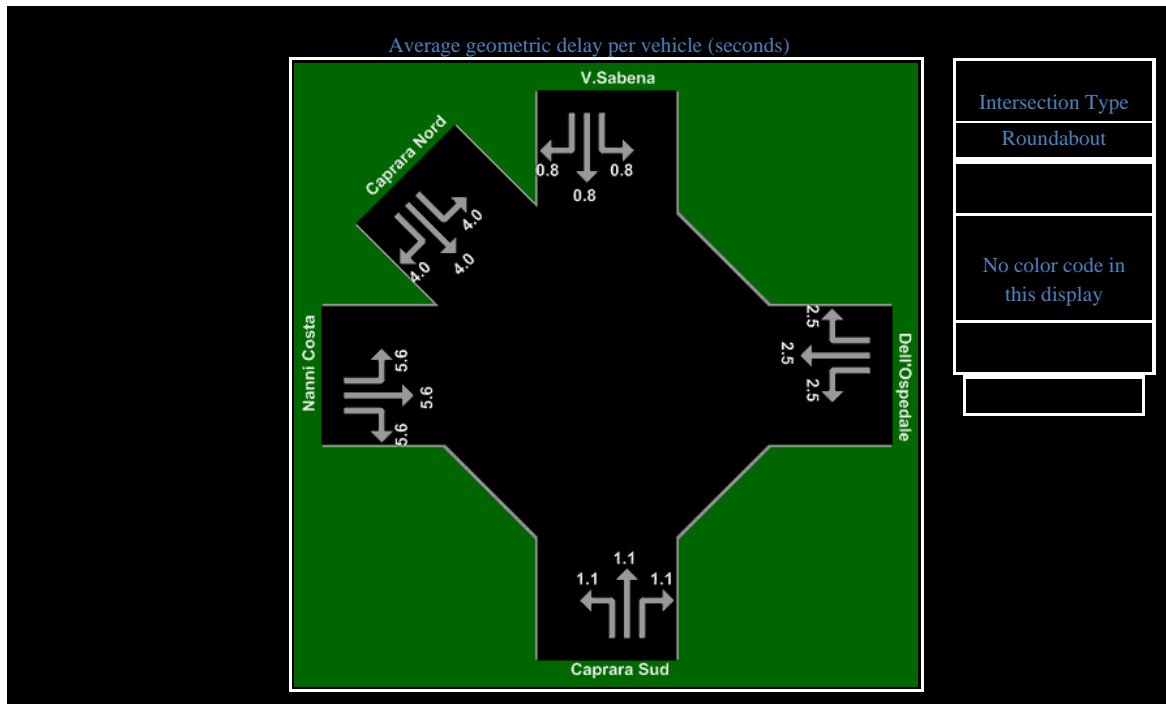


Fig. 2.7 Stop-line Delay /Average

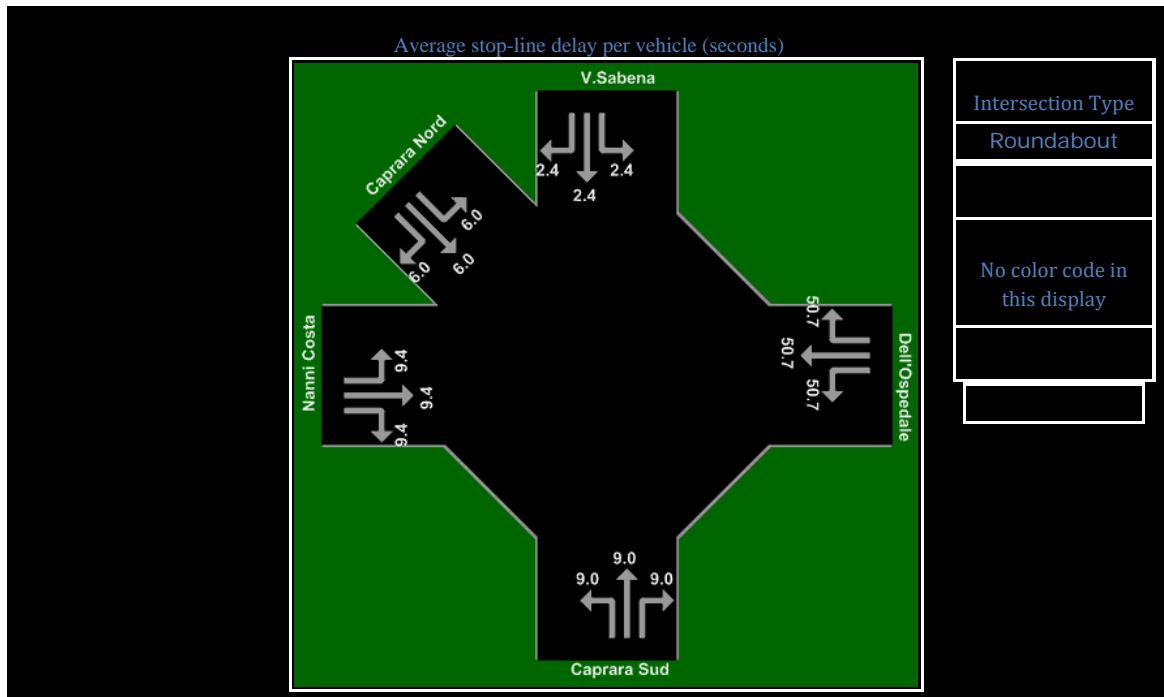


Fig. 2.8 - Approach, Circulating and Exiting Flows

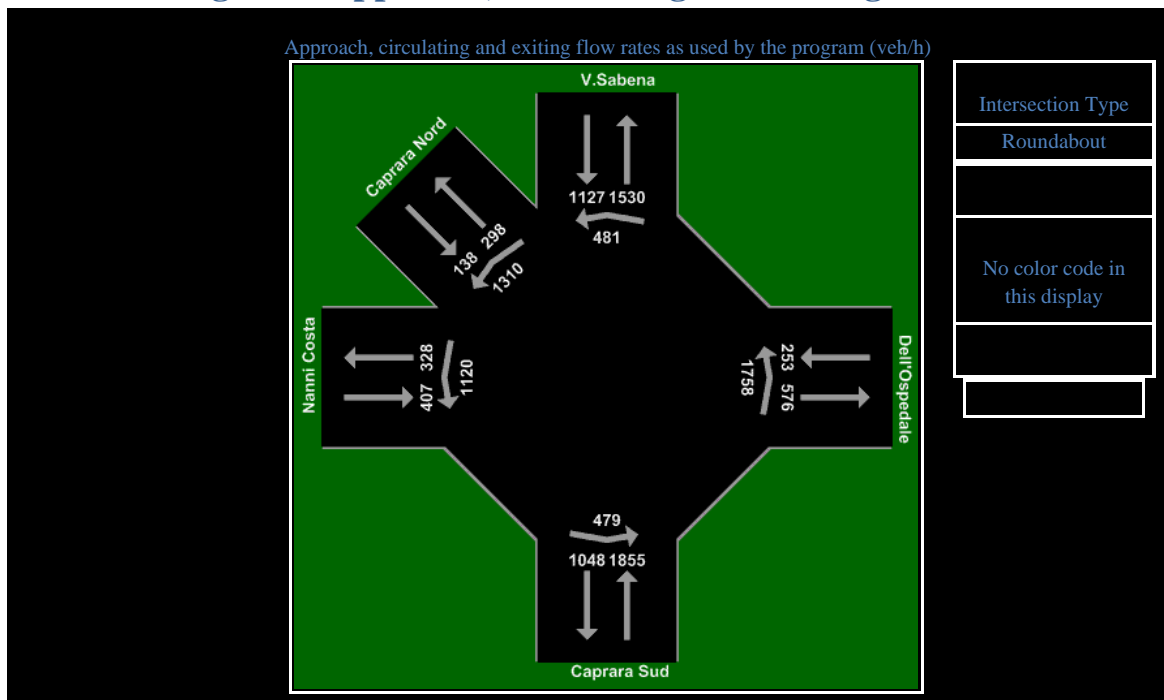


Fig. 2.9 - Level of Service

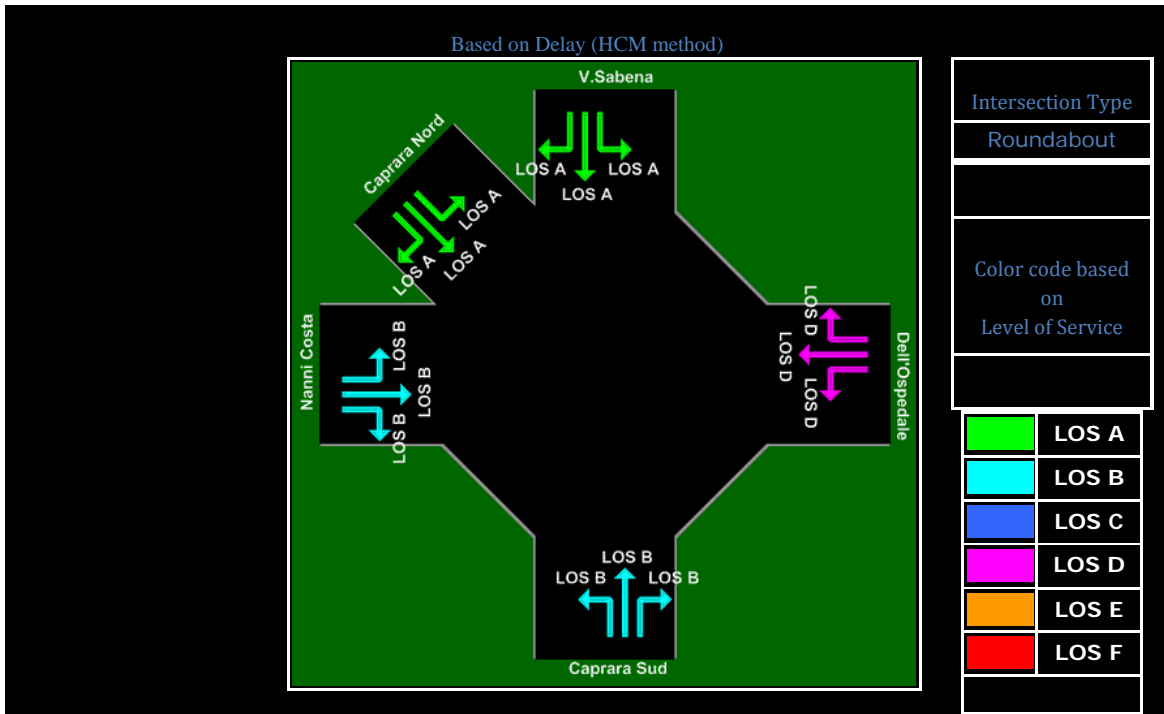
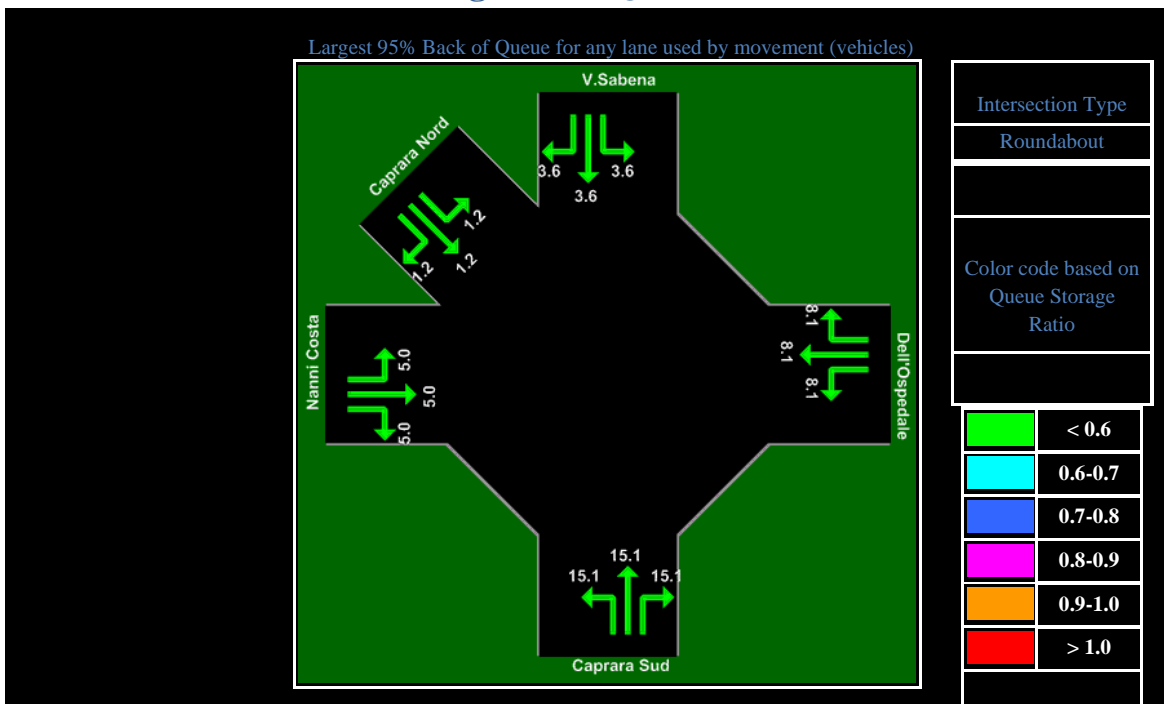


Fig. 2.10 – Queue



Andando ad esaminare i risultati ottenuti ci si accorge che i livelli da servizio sono discordanti.

Tale discordanza, è sicuramente accettabile, dato il difficile tentativo di adattare i valori di default alle reali condizioni operative dell' intersezioni.

In conclusione, analizzando il comportamento della rotatoria visivamente nell' ora di punta, ci si accorge del discreto funzionamento, con conseguente creazione di code e ritardi notevoli, soprattutto sul ramo Via Dell' Ospedale (1758 veicoli che "bloccano" l' accesso) ma anche su quello Prati di Caprara Sud, per cui i risultati possono essere ritenuti corrispondenti alla realtà esaminata.

CAPITOLO 3

INTERSEZIONE VIA EMILIA PONENTE – VIA PRATI DI CAPRARA – ASSE SUD OVEST

3.1 LE CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E DI CONTROLLO DELL' INTERSEZIONE

Questo nodo risulta essere uno dei punti nevralgici della rete nord ovest, ove si intersecano perpendicolarmente due arterie estremamente importanti quali l' Asse Sud Ovest e Via Emilia Ponente, (vedi fig. 3.1)

Trattasi di una intersezione di tipo a raso, resa di notevole importanza per il considerevole volume di traffico da cui è interessata.

Per quanto riguarda le sue dimensioni geometriche, ha un' area di manovra di circa 900 mq.

Malgrado le dimensioni, però, come vedremo, il ritardo nell' attraversare il nodo raggiunge valori disastrosi.

In essa confluiscono quattro stradali classificabili (secondo CNR) come strade di scorrimento e strade di quartiere:

- **Da Nord – Via Prati di Caprara** – composta da due carreggiate separate da spartitraffico, ognuna formata da due corsie di marcia di larghezza pari a 4 metri ottenendo così un ingombro di 18 metri. la manovra di svolta a sinistra è permessa solo ai mezzi pubblici;
- **Da Ovest – Via Emilia Ponente** – a semplice carreggiata suddivisa in 4 corsie di cui solo una per la periferia. Le corsie in direzione centro costituiscono un gruppo di corsie, compresa una riservata ai mezzi pubblici nella manovra di attraversamento. Ogni corsia ha una larghezza di 4 metri, quindi tutto il ramo misura 16 metri;
- **Da Sud – Asse Sud Ovest** – con caratteristiche analoghe a Via Prati di Caprara, e la manovra di svolta a destra è esclusivamente permessa ai mezzi pubblici;
- **Da Est – Via Emilia Ponente** – composta da una sola carreggiata suddivisa da cinque corsie, delle quali una direzionata verso il centro

adibita al solo trasporto pubblico. Le altre quattro sono in direzione periferia e appartengono ad un solo gruppo di corsie. Ogni corsia ha una larghezza di 4 metri, ottenendo così un ingombro di 20 metri;

I quattro tronchi, in prossimità dell' intersezione, sono dotati di segnaletica orizzontale adeguata per la svolta a destra, a sinistra e per l' individuazione delle corsie preferenziali; mediante segnalazione orizzontale, di corsie preferenziali per la svolta a destra e a sinistra.

Sono provvisti inoltre di marciapiede da ambo i lati della carreggiata, e la pista ciclabile è presente solo in via E. Ponente Est sul lato destro, la quale continua costeggiando in via Prati di Caprara.

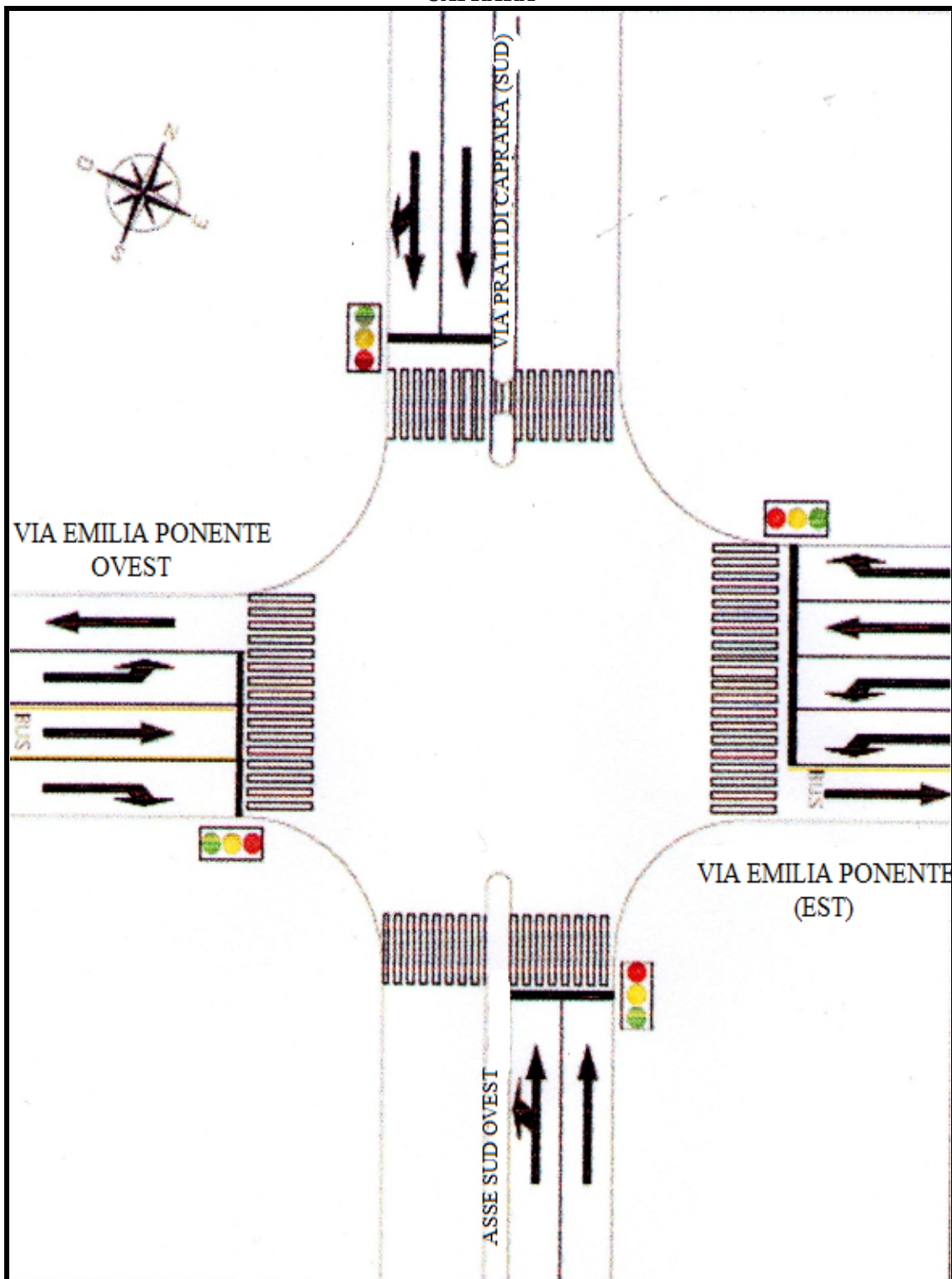
Sono presenti adeguate segnaletiche verticali ed orizzontali per i pedoni, anche se il flusso di questi ultimi è scarso.

Per un miglior deflusso del traffico, nei pressi dell' incrocio non vi sono fermate di autobus né aree destinate alla sosta di veicoli.

Le condizioni del flusso di traffico è di tipo interrotto con impianto semaforico a ciclo variabile, con ciclo base di 161 secondi.

Riportato un estratto dalla Carta Tecnica dove viene evidenziata l' intersezione descritta.

Fig. 3.1 PLANIMETRIA INTERSEZIONE VIA E. PONENTE – ASSE SUD OVERT – VIA P. DI CAPRARA



FASI SEMAFORICHE :

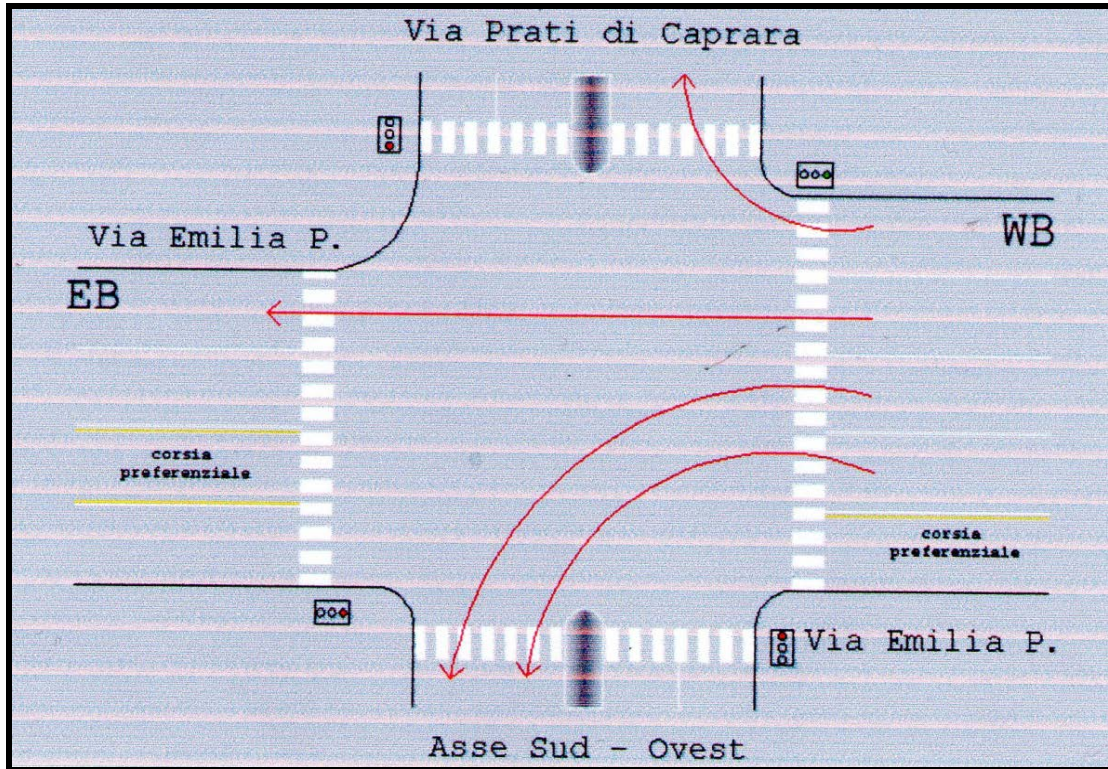
Come già accennato, il flusso è di tipo interrotto con controllo mediante impianto semaforico a ciclo variabile, con ciclo base di 161 secondi.

Le fasi che si possono distinguere sono quattro, passiamo ad analizzarle secondo la reale sequenza, ricordando che per la numerazione si fa sempre riferimento a quella che appare nel programma HCS 2000 :

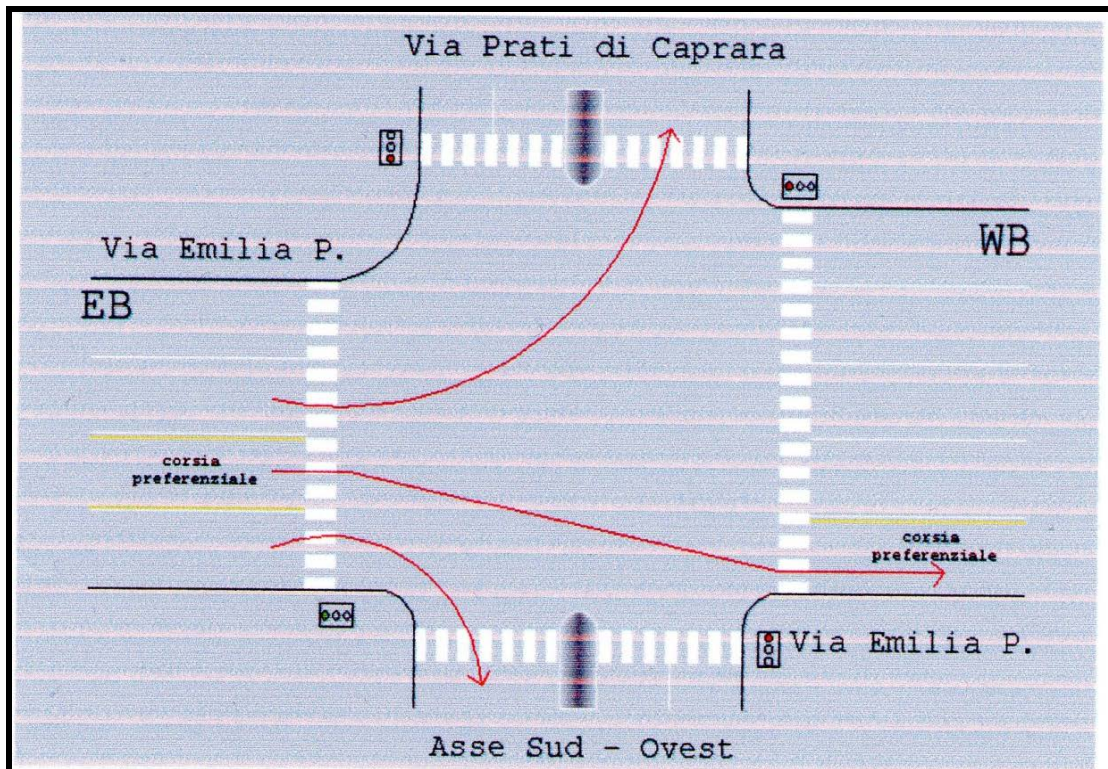
- **Via Emilia Ponente Est**, le lanterne sono disposte ad un tempo di verde effettivo di 53 secondi (50 secondi di verde + 3 di giallo) ed i restanti rami d'accesso sono disposti al rosso. E' permesso il deflusso dei pedoni in Via Prati di Caprara;
- **Via Emilia Ponente Ovest**, Il semaforo è disposto ad un tempo di verde effettivo di 28 secondi (25 secondi di verde + 3 di giallo) permettendo tutte le manovre possibili, essendo gli altri bracci disposti a rosso. In questa fase è permesso l' attraversamento pedonale del Asse Sud Ovest.
- **Via Prati di Caprara – Asse Sud Ovest**, le lanterne sono disposte ad un verde effettivo di 58 secondi (55 secondi di verde + 3 di giallo) contemporaneamente, permettendo l' attraversamento dell' intersezione e le eventuali manovre di svolta a sinistra. Sono permessi gli attraversamenti pedonali in entrambi i rami della Via Emilia. In un secondo momento le lanterne di Via Prati di Caprara sono disposte al rosso, dando via libera alla corrente opposta per ulteriori 22 secondi di verde effettivo (19 secondi di verde + 3 di giallo) di effettuare tutte le manovre consentite in libertà, consentendo anche l' attraversamento pedonale della Via E. Ponente Est.

Di seguito riportiamo una rappresentazione grafica delle fasi semaforiche e delle manovre consentite attualmente.

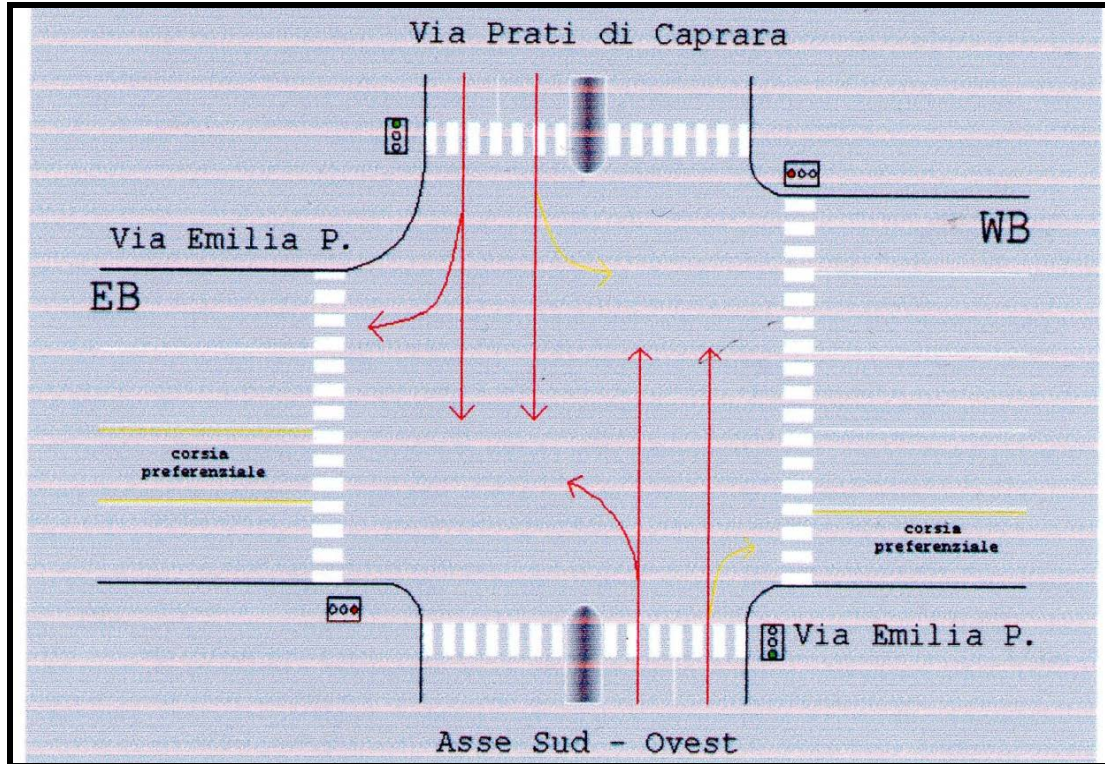
PRIMA FASE



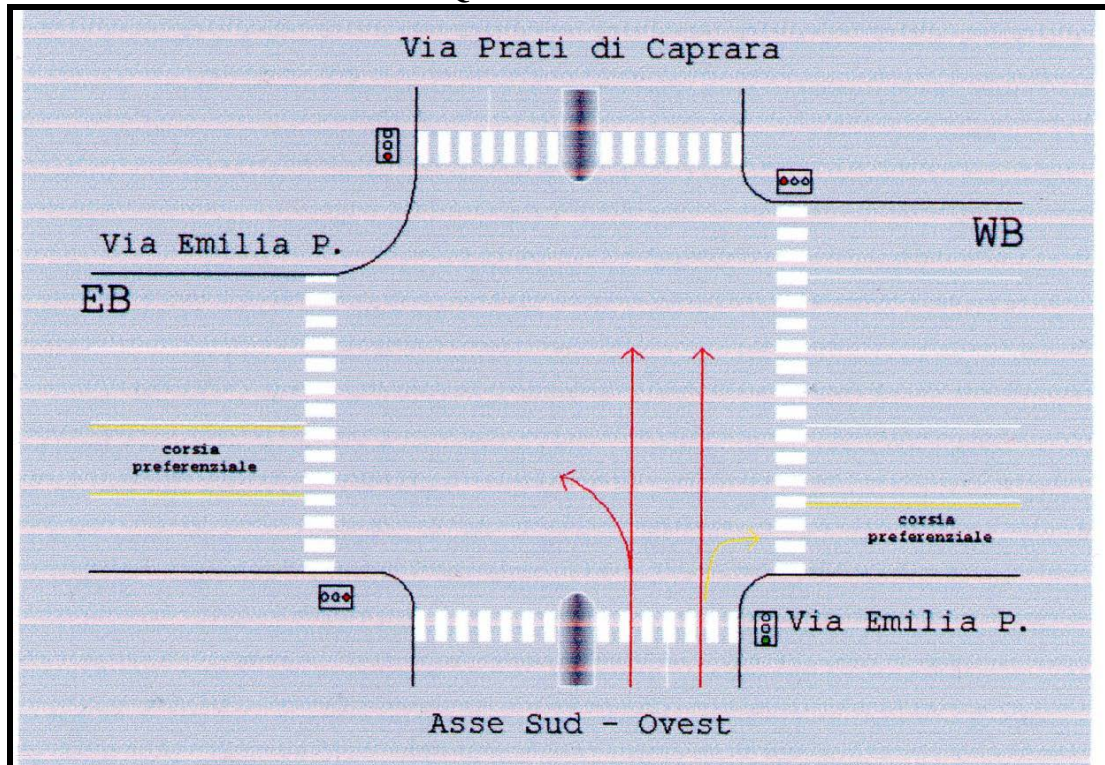
SECONDA FASE



TERZA FASE



QUARTA FASE



3.2 I FLUSSI DI TRAFFICO

Per ottenere dati statisticamente attendibili, sono stati effettuati dei rilevamenti mediante l'uso di una videocamera installata in loco che ci ha permesso successivamente di esaminare le riprese svolte, così da ottenere un preciso conteggio dei veicoli.

Tali rilevamenti sono stati realizzati nelle ore di punta del mattino e del pomeriggio, rispettivamente dalle 07:30 alle 08:30 e dalle 18:30 alle 19:30. Nelle Tabelle seguenti sono stati riportati i volumi di traffico e le distribuzioni delle svolte per l'ora di punta del mattino, con la suddivisione in motocicli, veicoli leggeri e veicoli pesanti, avendo cura poi di trasformare i motocicli in veicoli equivalenti al veicolo standard (l'autovettura) con il coefficiente di omogeneizzazione pari a 0,7.

Le condizioni di maggior traffico sono state rilevate nella fascia mattiniera in cui si raggiungono volumi di svolta oraria veramente consistenti.

Come si potrà notare, dalle 07:30 alle 08:30 l'intersezione è interessata da un movimento di 4798 veicoli/ora, mentre dalle 18:30 alle 19:30 da 4708 veicoli/ora.

La maggior corrente di traffico è quella che si registra nella manovra di attraversamento in direzione Sud – Nord dall'Asse Sud Ovest a Via Prati di Caprara, raggiungendo ben 1276 veicoli/ora.

I dati rilevati sono riportati in Allegato III. Nelle Tabelle 3.1 e 3.2 sono riportati i flussi di traffico e le Matrici Origine/Destinazione per l'ora di punta mattino mentre nelle Tabelle 3.3 e 3.4 quelle del pomeriggio.

La presenza di veicoli pesanti si assesta intorno al 3% tranne per le corsie di scambio Est – Ovest (periferia – centro e viceversa) dove si raggiunge una percentuale di veicoli pesanti (PHV) intorno al 14% costituito prevalentemente dai veicoli di trasporto pubblico.

Per quanto riguarda infine pedonale, nelle due fasce orarie considerate, si è rilevato poco intenso.

In conclusione ciò si è potuto constatare è che nelle ore di punta si formano delle code notevoli, con conseguenze facili da prevedere: lunghi tempi di attesa per l'attraversamento del nodo; ingorghi nella zona centrale dell'intersezione, in cui si accumulano i veicoli in attesa che si arresti il flusso

proveniente dalla parte opposta per poter effettuare la manovra di svolta a sinistra; senza parlare poi del notevole inquinamento atmosferico dovuto ai gas di scarico delle auto, che rende la permanenza nella zona insostenibile.

Tab. 3.1 - Flussi di traffico ora di punta mattino

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via Prati di Caprara	Asse Sud Ovest		Via E. Ponente Est		Via E. Ponente Ovest	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto	
07:30 – 08:30	858	10	0	0	95	2

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via E. Ponente Ovest	Via Prati di Caprara		Via E. Ponente Est		Asse Sud Ovest	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto	
07:30 – 08:30	361	2	125	36	189	2

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Asse Sud Ovest	Via E. Ponente Ovest		Via Prati di Caprara		Via E. Ponente Est	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto	
07:30 – 08:30	65	1	1263	13	0	0

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via E. Ponente Est	Asse Sud Ovest		Via E. Ponente Ovest		Via P. di Caprara	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto	
07:30 – 08:30	875	14	429	57	388	13

Tab. 3.2 - Matrice O/D mattino

Matrice O/D	Via P. di Caprara	Via E. Ponente Ovest	Via E. Ponente Est	Asse Sud Ovest	TOTALE
Via P. di Caprara	0	97 (2%)	0	868 (1%)	965 (1%)
Via E. Ponente Ovest	363 (2%)	0	161 (22%)	191 (1%)	715 (6%)
Via E. Ponente Est	401 (3%)	486 (12%)	0	889 (1%)	1776 (5%)
Asse Sud Ovest	1276 (1%)	66 (1%)	0	0	1342 (1%)
TOTALE (veh/h)	2040	649	161	1948	4798 (3%)

Nelle parentesi sono riportate le percentuali dei veicoli pesanti

Tab. 3.3 - Flussi di traffico ora di punta pomeriggio

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via Prati di Caprara	Asse Sud Ovest		Via E. Ponente Est		Via E. Ponente Ovest	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto	
18:30 – 19:30	947	14	0	0	120	2

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via E. Ponente Ovest	Via Prati di Caprara		Via E. Ponente Est		Asse Sud Ovest	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto	
18:30 – 19:30	240	7	171	37	262	5

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Asse Sud Ovest	Via E. Ponente Ovest		Via Prati di Caprara		Via E. Ponente Est	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto	
18:30 – 19:30	70	0	874	9	0	0

PROVENIENZA	DIREZIONE		DIREZIONE		DIREZIONE	
Via E. Ponente Est	Asse Sud Ovest		Via E. Ponente Ovest		Via P. di Caprara	
Ore	Auto	HV	Auto	HV	Auto	HV
	moto		moto		moto	
18:30 – 19:30	1084	5	534	44	282	1

Tab. 3.4 - Matrice O/D pomeriggio

Matrice O/D	Via P. di Caprara	Via E. Ponente Ovest	Via E. Ponente Est	Asse Sud Ovest	TOTALE
Via P. di Caprara	0	122 (2%)	0	961 (1%)	1083 (1%)
Via E. Ponente Ovest	247 (3%)	0	208 (18%)	267 (2%)	722 (7%)
Via E. Ponente Est	283 (0%)	578 (8%)	0	1089 (0%)	1950 (2%)
Asse Sud Ovest	883 (1%)	70 (0%)	0	0	953 (1%)
TOTALE (veh/h)	1413	770	208	2317	4708 (3%)

Nelle parentesi sono riportate le percentuali dei veicoli pesanti

3.3 STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO

Dall' esame dei risultati ottenuti attraverso l' utilizzo del software HCS, si evince, come era facile aspettarsi il maggior flusso veicolare registrato nell' ora di punta del mattino (4798 veh/h).

Da sottolineare, nell' ora di punta del pomeriggio, il ritardo medio accumulato dai veicoli costituenti il flusso proveniente da Via Emilia Ponente che svolta a sinistra (direzione Asse Sud Ovest), manovra, tra quelle possibili, sicuramente necessitante di maggior tempo rispetto alle altre.

Si sottolinea che questa intersezione risulta essere quella caratterizzata dalle peggiori condizioni, il ritardo medio del generico veicolo nel superare il nodo, al mattino raggiunge un valore di ben 197,5 sec/veh , i ritardi più elevati sono quelli che accumulano i veicoli provenienti dall' Asse Sud Ovest (306 sec/veh) e da Via Prati di Caprara (247 sec/veh).

Un po' migliori sono le condizioni di Via Emilia Ponente, che comunque rimane in classe F ed E, rispettivamente per gli attestamenti Ovest ed Est, come ovvio, grazie ai valori più contenuti dei flussi.

Emerge chiaramente l' inefficienza di questa intersezione e soprattutto dell' Asse Sud Ovest e Via Prati di Caprara che, a causa del notevole flusso, trascinano il grado di efficienza dell' intersezione a livelli bassissimi nonostante gli accettabili risultati di Via Emilia.

Nella Figure 3.2 e 3.3 sono riportati rispettivamente la distribuzione del flusso e le fasi semaforiche , mentre nelle Tabelle 3.5 e 3.6 i risultati della valutazione del LOS ,mediante l' HCS in forma sintetica relativi alle ore di punta del mattino.

Fig. 3.2 - Distribuzione del flusso HCS 2000 ora di punta mattino

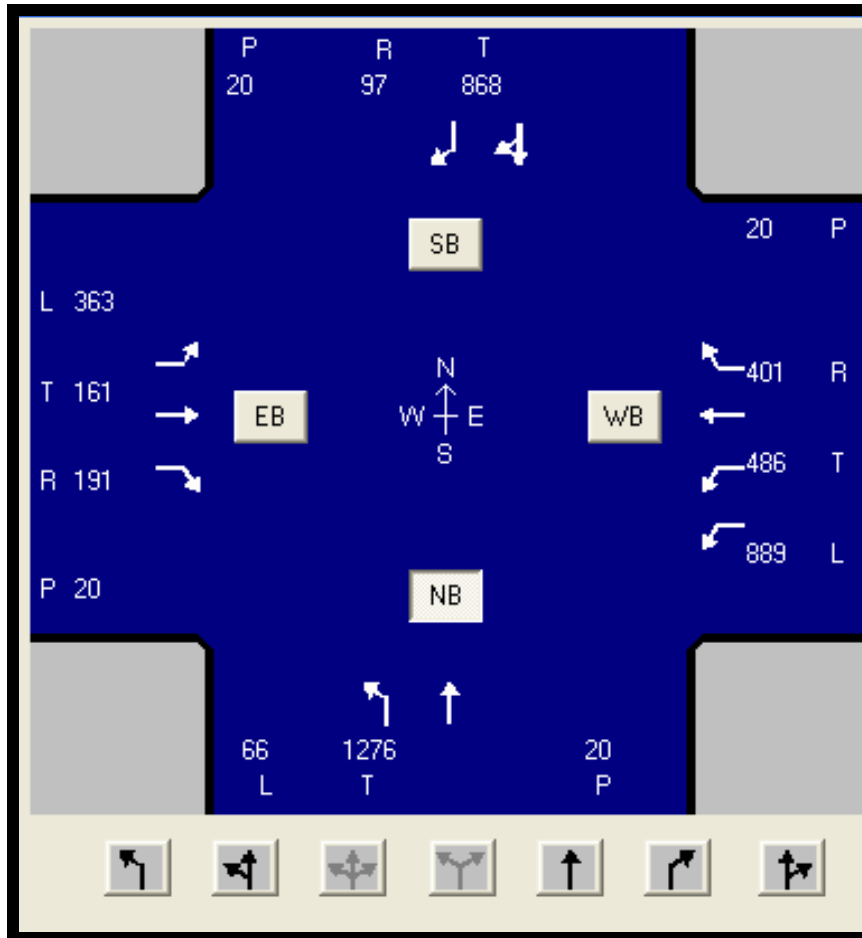
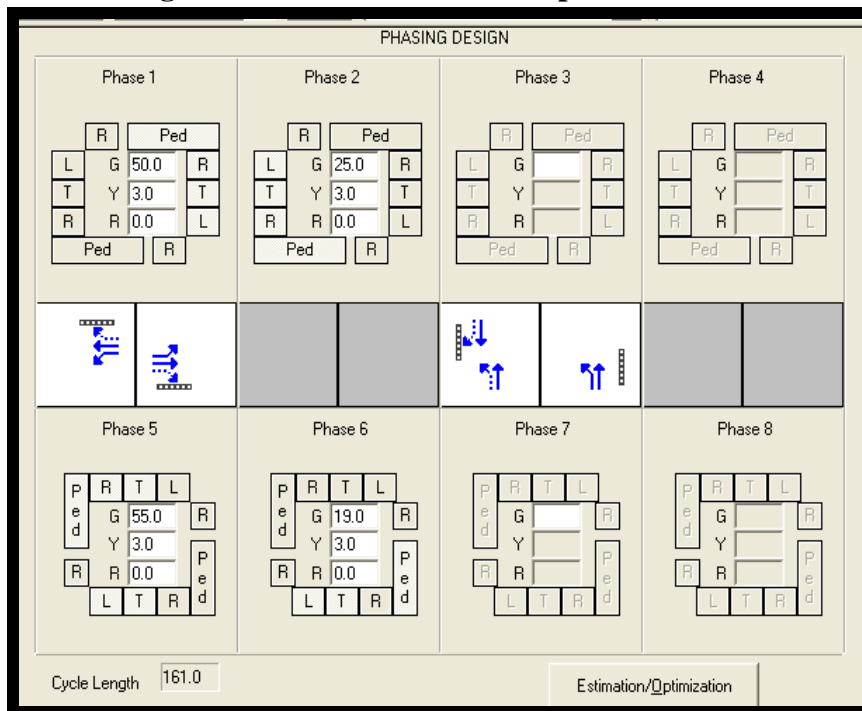


Fig. 3.3 - Fasi HCS 2000 ora di punta mattino



Tab. 3.5 - Risultati HCS 2000 E. PONENTE-ASSE S/O- P. DI CAPRARA mattino

RESULTS												
Eastbound			Westbound			Northbound			Southbound			
L	T	R	L	T	R	L	T		TR	R		
Lane Group Adjusted Volume, (vph)												
403	179	212	936	512	422	76	1467	0	0	933	104	
Lane Group Capacity, (vph)												
287	253	249	1104	550	509	303	940			665	554	
Lane Group v/c Ratio												
1.40	0.71	0.85	0.85	0.93	0.83	0.25	1.56			1.40	0.19	
Critical Lane Group												
#			#			#			#			
Lane Group Delay, (sec/veh)												
332.3	90.5	115.6	61.5	87.9	71.0	59.6	318.7			270.4	39.5	
Lane Group Level of Service												
F	F	F	E	F	E	E	F			F	D	
Final Unmet Demand, (v)												
34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	136.8			72.0	0.0	
Approach Delay, (sec/veh)												
219.9			70.8			305.9			247.2			
Approach Level of Service												
F			E			F			F			
Cycle Length		161.0	sec		Intersection Delay		197.5	sec/veh		Intersection LOS		F

Tab. 3.6 - Risultati intersezione Via E. PONENTE – VIA P. DI CAPRARA – ASSE S/O

HCS2000™ DETAILED REPORT													
General Information						Site Information							
Analyst <i>ANDREAS PALEOLOGOS</i> Agency or Co. <i>Engineering Faculty</i> Date Performed <i>17/02/2012</i> Time Period <i>07:30 - 08:30</i>						Intersection <i>EMILIA PONENTE-ASSE</i> S/O Area Type <i>All other areas</i> Jurisdiction <i>Bologna</i> Analysis Year <i>FEBBRAIO 2012</i> Project ID <i>Intersection Verification (Present Scenario)</i>							
Volume and Timing Input													
	EB			WB			NB			SB			
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	
Number of lanes, N_1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	
Lane group	L	T	R	L	T	R	L	T			TR	R	
Volume, V (vph)	363	161	191	889	486	401	66	1276			868	97	
% Heavy vehicles, %HV	2	22	1	3	12	1	1	1			2	1	
Peak-hour factor, PHF	0.90	0.90	0.90	0.95	0.95	0.95	0.87	0.87			0.93	0.93	
Pretimed (P) or actuated (A)	P	P	P	P	P	P	P	P			P	P	
Start-up lost time, I_1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0			2.0	2.0	
Extension of effective green, e	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0			2.0	2.0	
Arrival type, AT	3	3	3	3	3	3	3	3			3	3	
Unit extension, UE	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			3.0	3.0	
Filtering/metering, I	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			1.000	1.000	
Initial unmet demand, Q_b	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	5.0	
Ped / Bike / RTOR volumes	20	0	0	20	0	0					20	0	0
Lane width	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0			4.0	4.0	
Parking / Grade / Parking	N	0	N	N	0	N	N	0	N	N	0	N	
Parking maneuvers, N_m													
Buses stopping, N_B	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	
Min. time for pedestrians, G_p	19.4			23.4						21.4			
Phasing	WB Only	EB Only	03	04	NS Perm	NB Only	07	08					
Timing	G = 50.0	G = 25.0	G =	G =	G = 55.0	G = 19.0	G =	G =					
	Y = 30	Y = 30	Y =	Y =	Y = 30	Y = 30	Y =	Y =					
Duration of Analysis, T = 0.25							Cycle Length, C = 161.0						
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination													
	EB			WB			NB			SB			
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	
Adjusted flow rate, v	403	179	212	936	512	422	76	1467			933	104	
Lane group capacity, c	287	253	249	1104	550	509	303	940			665	554	
v/c ratio, X	1.40	0.71	0.85	0.85	0.93	0.83	0.25	1.56			1.40	0.19	
Total green ratio, g/C	0.16	0.16	0.16	0.31	0.31	0.31	0.48	0.48			0.34	0.34	
Uniform delay, d_1	68.0	65.5	67.2	52.4	54.7	52.4	55.0	42.0			53.0	38.0	

Progression factor, PF	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			1.000	1.000
Delay calibration, k	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50			0.50	0.50
Incremental delay, d_2	201.5	15.4	28.9	8.1	24.6	14.4	2.0	257.5			190.3	0.7
Initial queue delay, d_3	62.7	9.6	19.5	1.0	8.6	4.1	2.6	19.1			27.1	0.7
Control delay	332.3	90.5	115.6	61.5	87.9	71.0	59.6	318.7			270.4	39.5
Lane group LOS	F	F	F	E	F	E	E	F			F	D
Approach delay	219.9			70.8			305.9			247.2		
Approach LOS	F			E			F			F		
Intersection delay	197.5			$X_c = 1.33$			Intersection LOS			F		

CAPITOLO 4

IPOSTESI DI INCREMENTO DEL TRAFFICO DELLA ROTATORIA – OTTIMIZZAZIONE DELLA VIA EMILIA

4.1 DEFINIZIONE DELLA NUOVA MATRICE O-D

L'intersezione a rotatoria Granatieri di Sardegna si trova, come in precedenti paragrafi accennato, in un'area di espansione residenziale, di prima periferia della città di Bologna, dove sorgono anche varie strutture commerciali di interesse non solo per il quartiere, ma per l'intera città. In tale area, a circa 300 metri dalla suddetta intersezione, è presente una delle più imponenti strutture ospedaliere della città, l' **Ospedale Maggiore "Carlo Alberto Pizzardi"**, il quale è composto da tre edifici principali di 15 piani più altre strutture minori tutte collegate tra loro. Le strutture sono raggiunte da numerose linee ATC, (13 – 19 – 35 – 38 – 39 - 61) che parte di queste interessano proprio la rotatoria e le restanti (come vedremo più avanti) l'intersezione E. Ponente – Asse S/O – P. di Caprara. Inoltre, non più di 1,5 km dalla suddetta intersezione, è in fase di realizzazione il nuovo insediamento di **Bertalia - Lazzaretto**, nella zona Nord - Ovest della città, (fine realizzazione prevista 2016) che rappresenta uno dei progetti più importanti per lo sviluppo non solo della zona, ma dell'intera città, visto che è previsto un numero di popolazione insediata tra 5000 abitanti-7000 studenti/lavoratori giornalieri.

Si prevede, quindi, che nel breve - medio e nel lungo tempo la rotatoria Granatieri di Sardegna , (ma anche l'intersezione Via E. Ponente – Asse S/O – Via P. di Caprara che dista dalla rotatoria non più di 500 metri) verrà verosimilmente interessata da un aumento del traffico veicolare. Con tale motivazione, si è proceduto ad una ulteriore valutazione del Livello di Servizio in presenza di un flusso veicolare aumentato del 10% rispetto a quello calcolato in precedenza. Il calcolo è stato effettuato con il software SIDRA, con la stessa metodologia, quindi, le stesse procedure, gli stessi

dati di progetto utilizzati per la prima valutazione, con l'inserimento, naturalmente, nella matrice O - D di punta mattina e di dati di flussi aumentati del 10%, così come riportato nella tab. 4.1

Tab. 4.1 Matrice O – D plus 10% rotatoria (07:30 – 08:30)

Matrice O/D	Via P. di Caprara Sud	Via dell' Ospedale	V.le V. Sabena	Via P. Caprara Nord	Via N. Costa	TOTALE (veh./h)
Via P. di Caprara Sud	0	478 (1%)	1254 (1%)	161 (3%)	146 (2%)	2039 (1%)
Via dell' Ospedale	81 (1%)	0	101 (7%)	53 (4%)	43 (8%)	278 (5%)
V.le V. Sabena	924 (1%)	85 (3%)	0	69 (0%)	162 (0%)	1240 (1%)
Via P. Caprara Nord	63 (2%)	23 (0%)	56 (2%)	0	10 (11%)	152 (2%)
Via N. Costa	85 (1%)	47 (0%)	272 (0%)	44 (0%)	0	448 (0%)
TOTALE (veh./h)	1153	633	1683	327	361	4157 (2%)

Nelle parentesi sono riportati le percentuali dei veicoli pesanti

4.2 STIMA DEL NUOVO LIVELLO DI SERVIZIO DELLA ROTATORIA

L'inserimento suddetto ha permesso di ricavare le principali schermate di output, per l'ora di punta della mattina.

- **INTERSECTION SUMMARY** (vedi tab. 4.2)
- **MOVIMENT SUMMARY** (vedi tab. 4.3)
- **DEGREE OF SATURATION** (vedi fig. 4.1)
- **TOTAL CAPACITY** (vedi 4.2)
- **CONTROL DELAY** (vedi 4.3)
- **GEOMETRIC DELAY** (vedi 4.4)
- **STOP LINE DELAY** (vedi fig. 4.5)
- **APPROACH, CIRCULATING AND EXITING FLOWS** (vedi fig. 4.6)
- **LEVEL OF SERVICE** (vedi fig. 4.7)
- **QUEUE** (vedi fig.4.8)

Tab. 4.1 - Intersection Summary

Performance Measure	Vehicles	Persons
Demand Flow	4148 veh/h	6222 pers/h
Degree of Saturation	1.293	
Capacity (Total)	5682 veh/h	
95% Back of Queue (m)	606 m	
95% Back of Queue (veh)	83.2 veh	
Control Delay (Total)	64.45 veh-h/h	96.67 pers-h/h
Control Delay (Average)	55.9 s/veh	55.9 s/pers
Level of Service	LOS E	
Level of Service (Worst Movement)	LOS F	
Total Effective Stops	7023 veh/h	10534 pers/h
Effective Stop Rate	1.69 per veh	1.69 per pers
Travel Distance (Total)	2451.0 veh-km/h	3676.5 pers-km/h
Travel Distance (Average)	591 m	591 m
Travel Time (Total)	113.9 veh-h/h	170.9 pers-h/h
Travel Time (Average)	98.9 secs	98.9 secs
Travel Speed	21.5 km/h	21.5 km/h
Operating Cost (Total)	2844 \$/h	2844 \$/h
Fuel Consumption (Total)	352.0 L/h	
Carbon Dioxide (Total)	880.7 kg/h	
Hydrocarbons (Total)	1.614 kg/h	
Carbon Monoxide (Total)	57.45 kg/h	
NOX (Total)	1.649 kg/h	

Movement Summary

Rotatoria

Roundabout

Vehicle Movements

Mov No	Turn	Dem Flow (veh/h)	Cap (veh/h)	Deg of Satn (v/c)	Aver Delay (sec)	Level of Service	95% Back of Queue (m)	Eff. Stop Rate	Aver Speed (km/h)	Oper Cost (\$/h)
Caprara Sud										
1	L	146	2141	0.952	27.4	LOS C	252	1.70	30.3	1028
1	T	1415	2141	0.952	27.4	LOS C	252	1.70	30.3	1028
1	R	478	2141	0.952	27.4	LOS C	252	1.70	30.3	1028
Approach		2039	2141	0.952	27.4	LOS C	252	1.70	30.3	1028
Dell'Ospedale										
4	L	81	208	1.293	599.9	LOS F	606	8.77	3.4	1128
4	T	96	208	1.293	599.9	LOS F	606	8.77	3.4	1128
4	R	92	208	1.293	599.9	LOS F	606	8.77	3.4	1128
Approach		269	208	1.290	599.9	LOS F	606	8.77	3.4	1128
V.Sabena										
7	L	85	2207	0.562	3.6	LOS A	31	0.45	44.7	420
7	T	924	2207	0.562	3.6	LOS A	31	0.45	44.7	420
7	R	231	2207	0.562	3.6	LOS A	31	0.45	44.7	420
Approach		1240	2207	0.562	3.6	LOS A	31	0.45	44.7	420
Caprara Nord										
27	L	56	519	0.293	10.9	LOS B	11	0.81	40.2	61
27	T	86	519	0.293	10.9	LOS B	11	0.81	40.2	61
27	R	10	519	0.293	10.9	LOS B	11	0.81	40.2	61
Approach		152	519	0.293	10.9	LOS B	11	0.81	40.2	61
Nanni Costa										
10	L	316	607	0.738	19.3	LOS B	49	1.15	35.2	208
10	T	47	607	0.738	19.3	LOS B	49	1.15	35.2	208
10	R	85	607	0.738	19.3	LOS B	49	1.15	35.2	208
Approach		448	607	0.739	19.3	LOS B	49	1.15	35.2	208
All Vehicles		4148	5682	1.293	55.9	LOS E	606	1.69	21.5	2844

Fig. 4.1 – Degree of Saturation

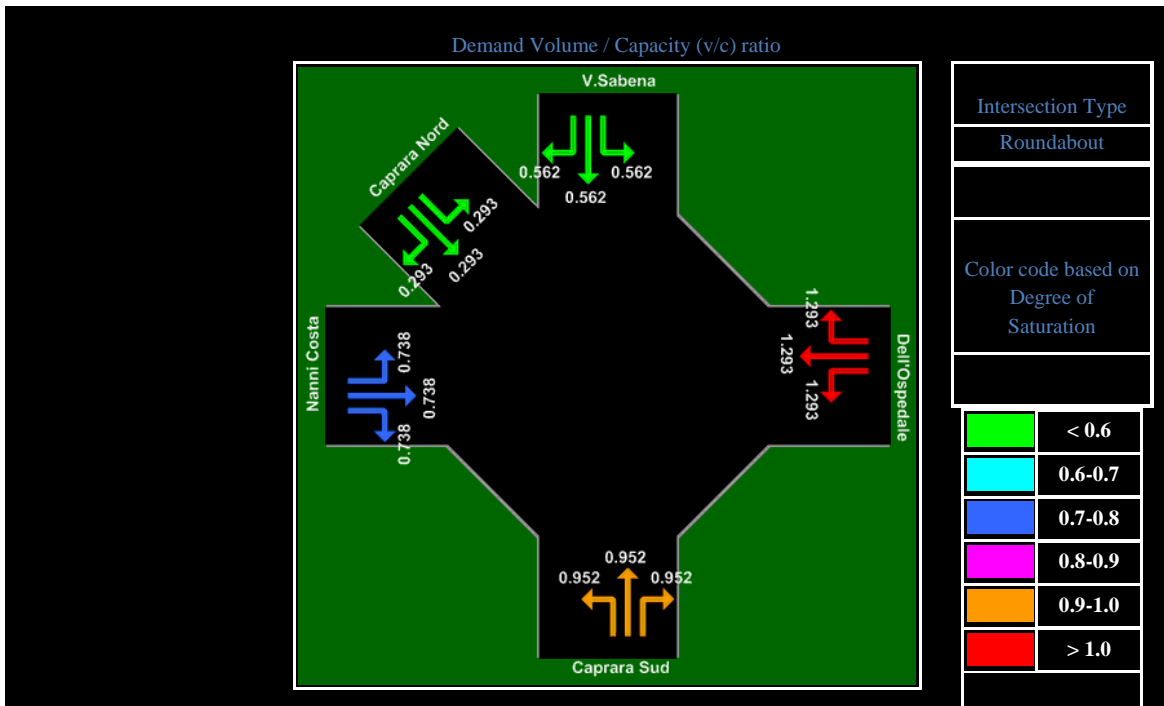


Fig. 4.2 - Total Capacity

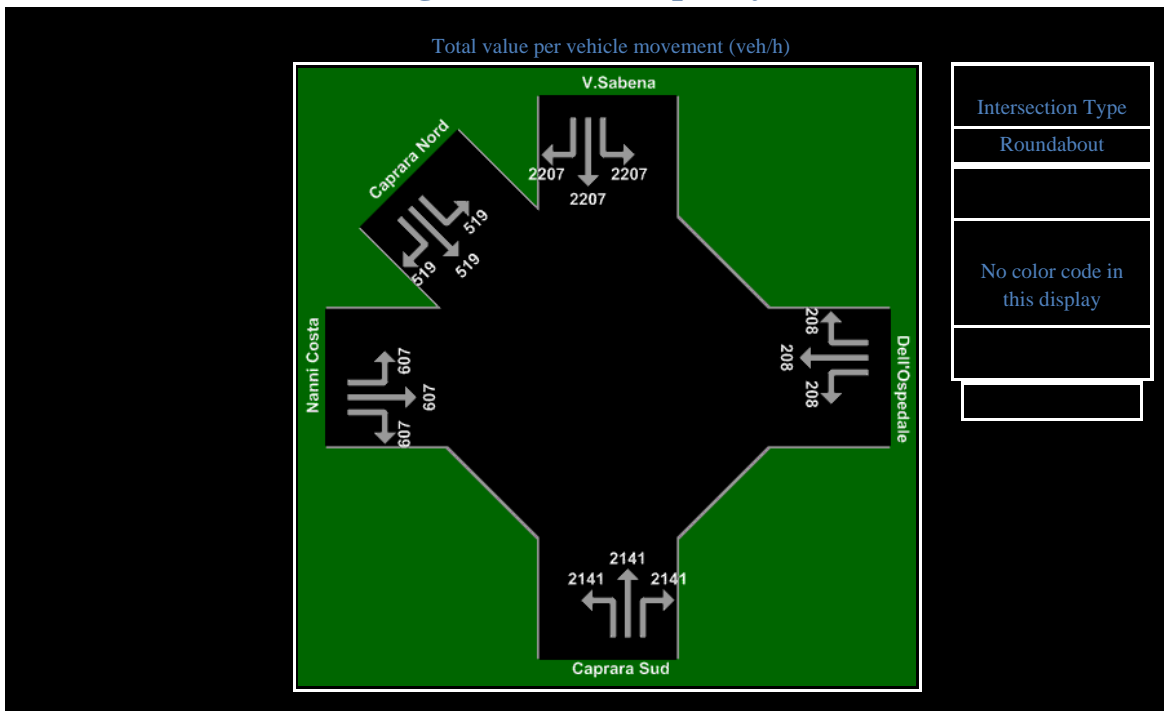


Fig. 4.3 - Control Delay /Average

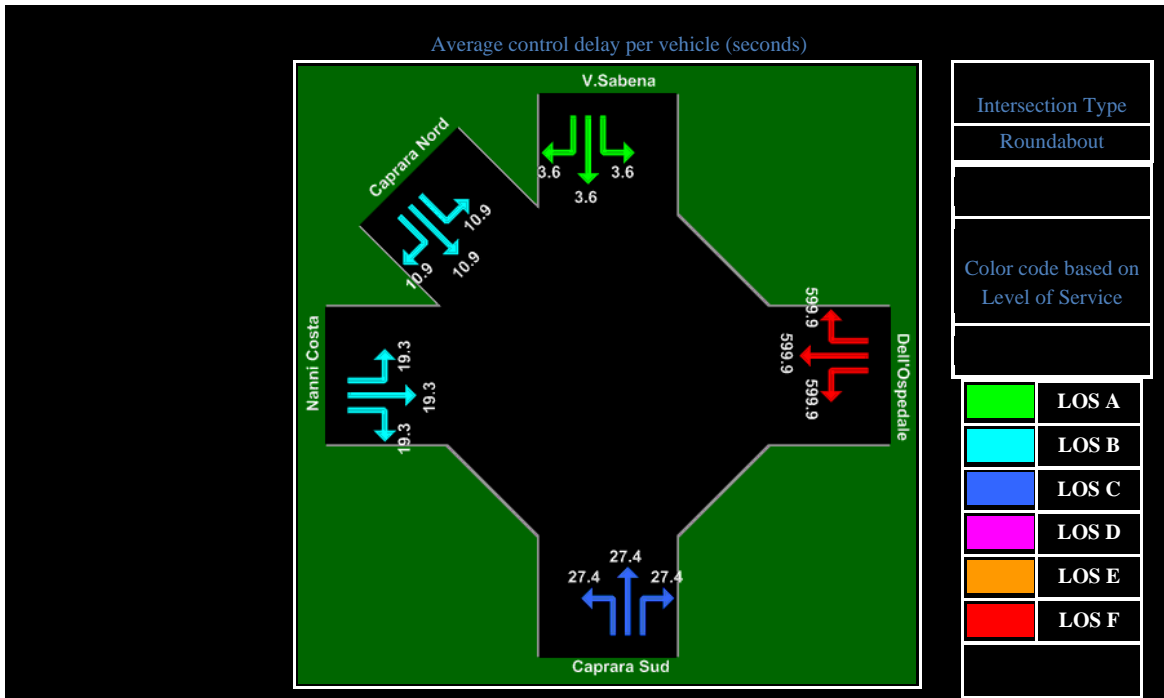


Fig. 4.4 - Geometric Delay

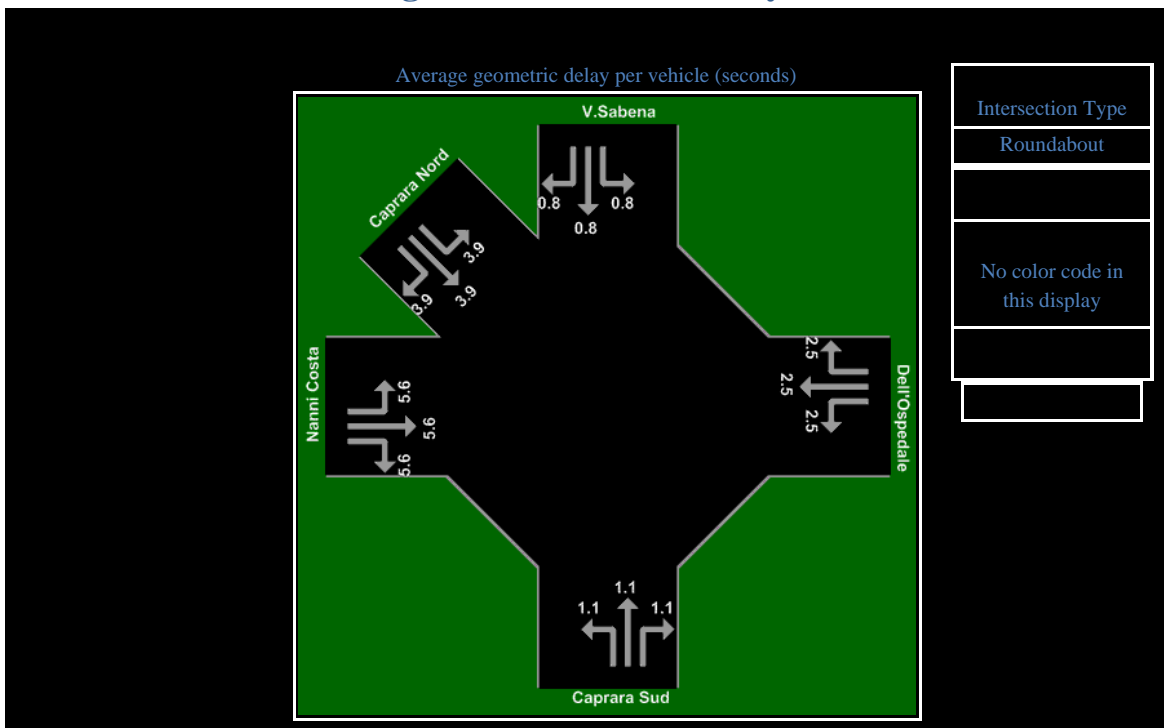


Fig. 4.5 Stop-line Delay /Average

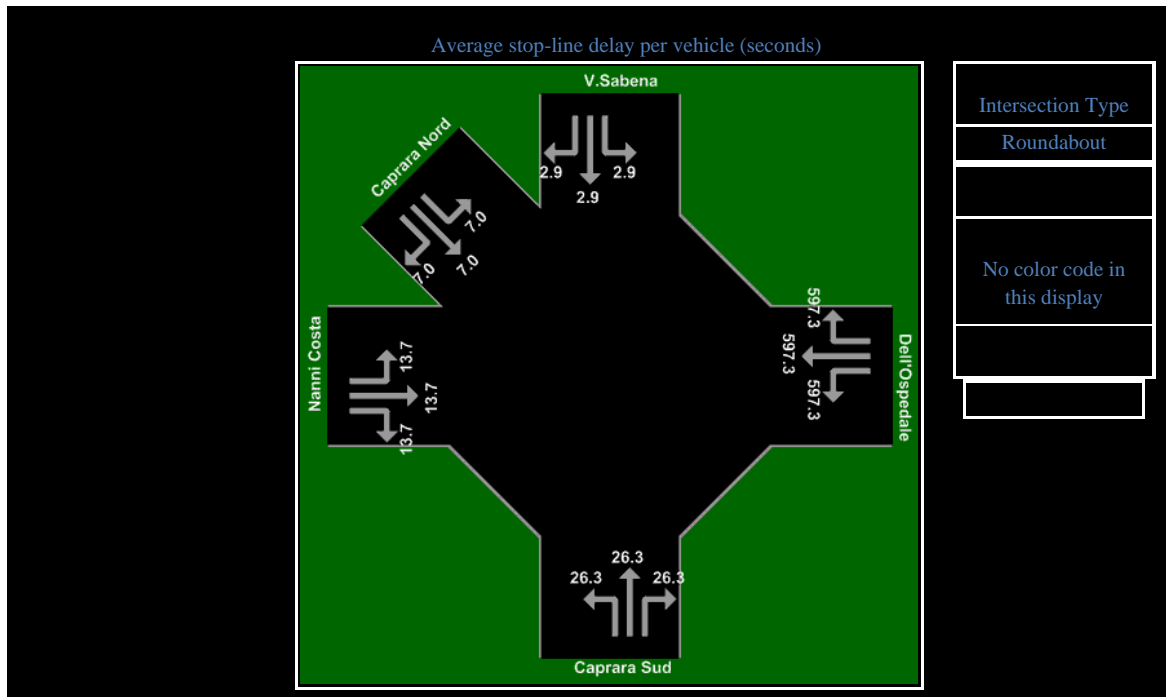


Fig. 4.6 - Approach, Circulating and Exiting Flows

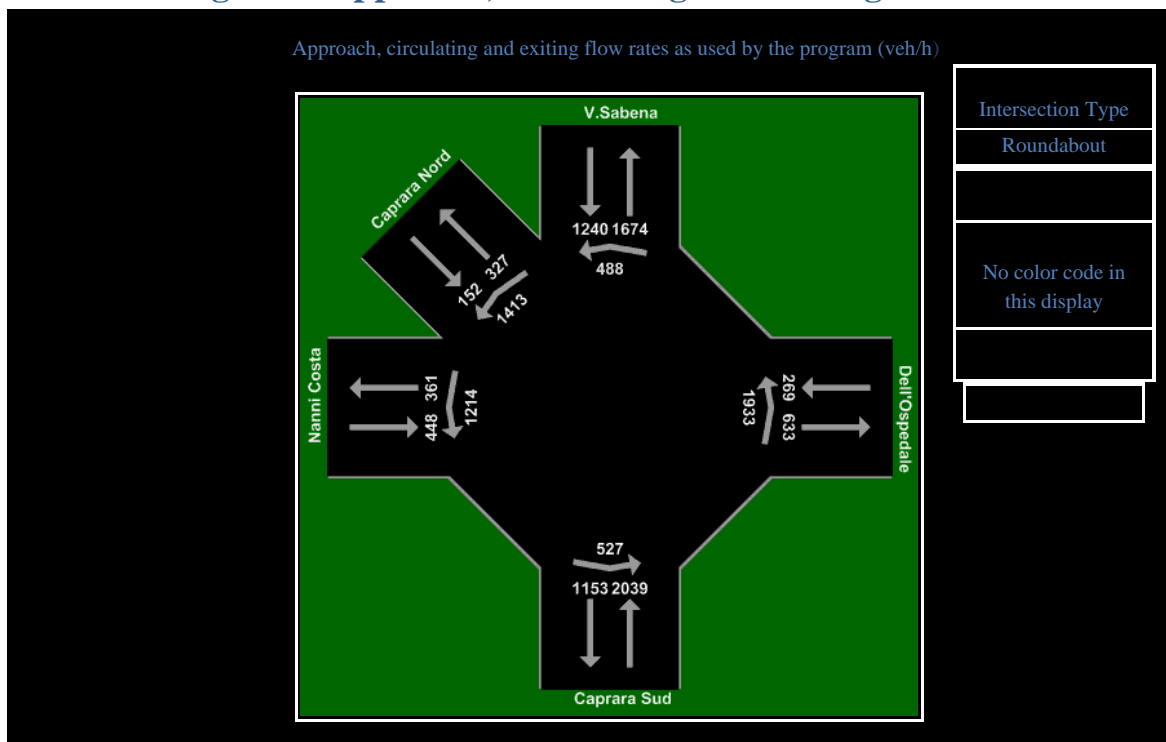


Fig. 4.7 - Level of Service

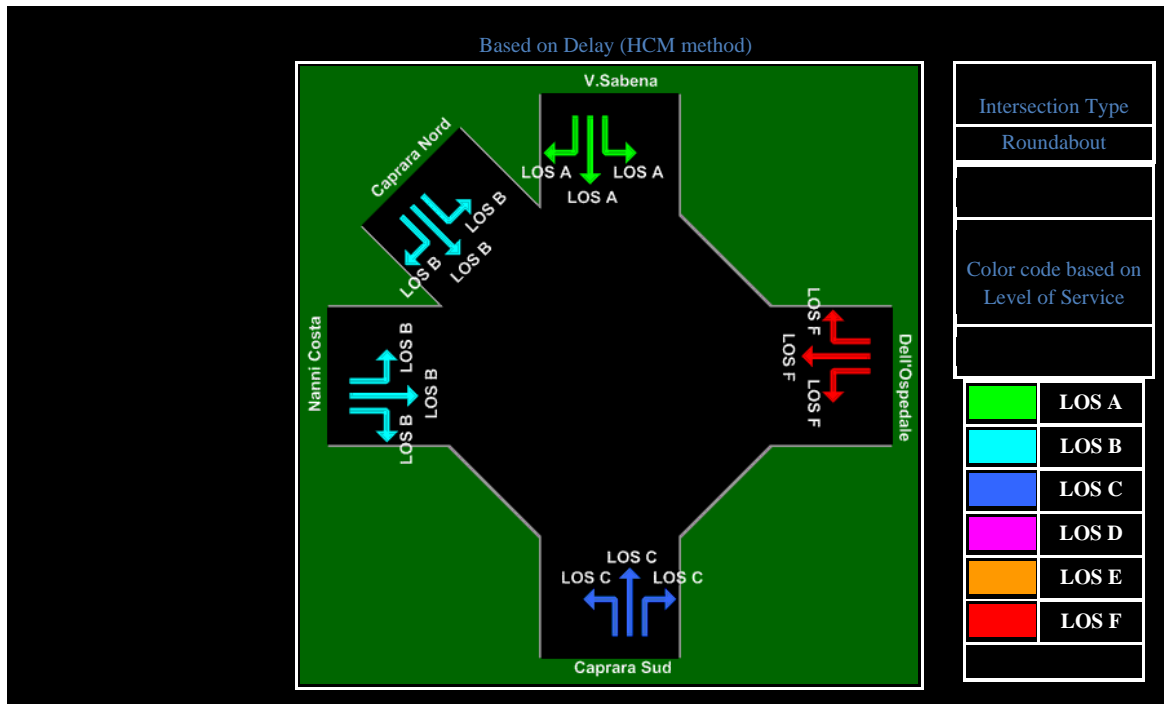
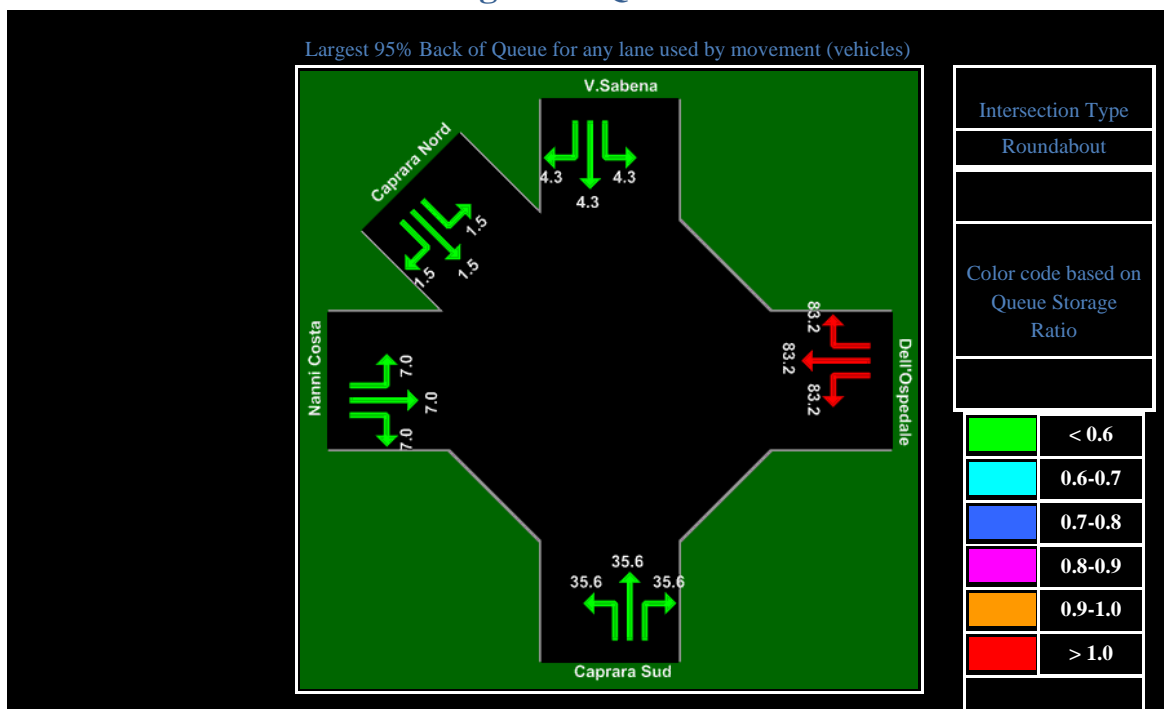


Fig. 4.8 – Queue



Andando ad esaminare i risultati ottenuti ci si accorge che i livelli del servizio rimangono discordanti, ma soprattutto come risente particolarmente un simile incremento Via Dell' Ospedale.

Tale discordanza, comincia a diventare NON accettabile, ma dato il difficile tentativo di adattare i valori di default alle reali condizioni operative dell' intersezioni, le soluzioni in breve – medio termine devono essere più che mirate.

Citiamo soltanto che in condizioni simili di un ipotetico (ma più che reale nei prossimi anni) incremento del flusso, una soluzione senza sconvolgere la geometria della rotatoria, è quella di creare un' ulteriore carreggiata in Via Dell' Ospedale (di 3.60 metri di larghezza e per non più di 350 metri di lunghezza, mantenendo invariate le altre geometrie) per almeno il ramo di entrata alla rotatoria, visto che attualmente tale spazio per questo intervento non solo è presente ma anche inutilizzabile.

In conclusione, analizzando il comportamento della rotatoria con un incremento del flusso di 10%, ci si accorge del pessimo funzionamento, con conseguente creazione di code eccessive e ritardi notevoli, soprattutto sul ramo Via Dell' Ospedale ma anche su quello Prati di Caprara Sud.

Nel paragrafo 4.4 faremo un confronto tra l' attuale situazione e quella che verosimilmente saremo costretti ad affrontare nel futuro.

4.3 STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO DELLA VIA EMILIA ATTRAVERSO L' OTTIMIZZAZIONE HCS 2000

Il processo di ottimizzazione secondo HCS 2000 è un processo nel quale viene utilizzato una serie di algoritmi basandosi sui dati già inseriti ma con lo scopo di dare al operatore quella soluzione per la quale il programma ha evidenziato lo stato attuale, cercando però la soluzione migliore, ottimizzando quindi il ciclo.

Riportiamo quindi la soluzione migliore secondo HCS 2000 per l' intersezione Emilia Ponente – Asse Sud Ovest – Prati di Caprara, con il flusso d traffico attuale nel ora di punta del mattino, ora per la quale si registra il maggior flusso.

Come si potrà notare dai risultati, il programma con l' ottimizzazione ha ridotto il ciclo semaforico di 12 secondi portandolo a 149 secondi da 161 secondi attuali, e ha ridotto anche il ritardo medio per veicolo di ben 28,5 secondi portandolo da 197,5 sec/veh. a 169 sec/veh. ,mantenendo purtroppo lo stesso livello di servizio F.

Nella fig. 4.9 è riportata la distribuzione del flusso attuale, mentre nella fig. 4.10 il “ciclo ottimizzato” secondo HCS 2000. Seguono nelle tab. 4.4 e 4.5 i risultati e la conseguente ottimizzazione del LOS secondo lo stesso programma.

Fig. 4.9 - Distribuzione del flusso

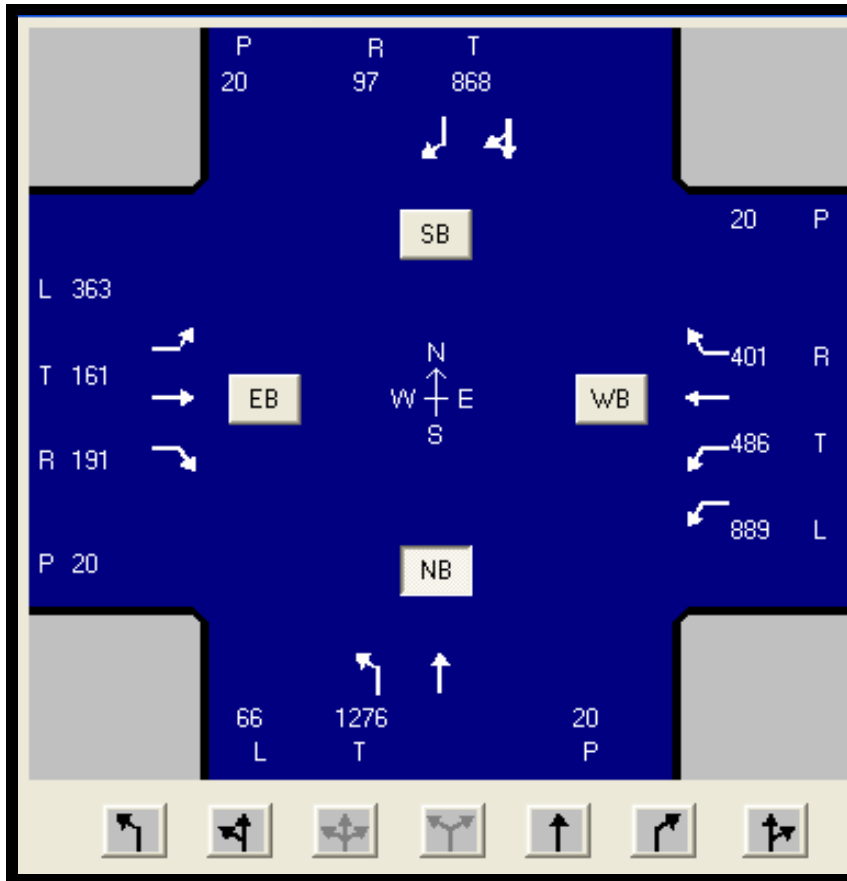
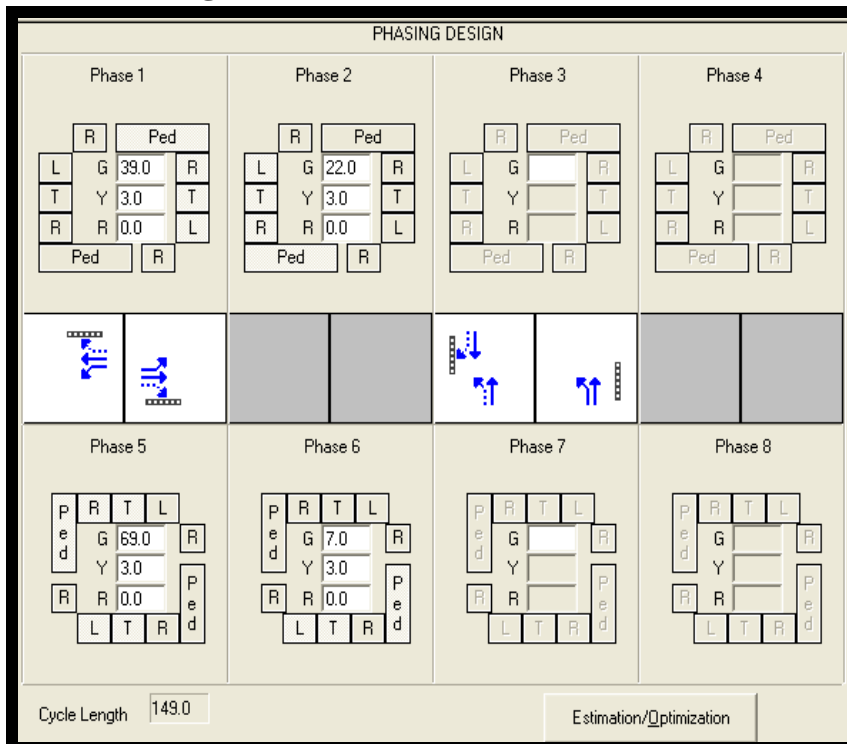


Fig. 4.10 - Ciclo ottimizzato HCS 2000



Tab. 4.4 - Risultati HCS 2000 E. PONENTE-ASSE S/O- P. DI CAPRARA mattino

RESULTS												
Eastbound			Westbound			Northbound			Southbound			
L	T	R	L	T	R	L	T		TR	R		
Lane Group Adjusted Volume, (vph)												
403	179	212	936	512	422	76	1467	0	0	933	104	
Lane Group Capacity, (vph)												
273	240	237	930	464	427	178	1042			901	757	
Lane Group v/c Ratio												
1.48	0.75	0.89	1.01	1.10	0.99	0.43	1.41			1.04	0.14	
Critical Lane Group												
#			#			#						
Lane Group Delay, (sec/veh)												
362.5	92.9	130.1	105.4	166.7	132.6	73.5	241.6			99.5	24.2	
Lane Group Level of Service												
F	F	F	F	F	F	E	F			F	C	
Final Unmet Demand, (v)												
37.5	0.0	0.0	6.5	17.0	3.7	0.0	111.2			13.0	0.0	
Approach Delay, (sec/veh)												
239.7			128.4			233.3			92.0			
Approach Level of Service												
F			F			F			F			
Cycle Length		149.0	sec		Intersection Delay		168.9	sec/veh		Intersection LOS		F

Tab. 4.5 - Risultati HCS 2000 E. PONENTE-ASSE S/O- P. DI CAPRARA

HCS2000™ DETAILED REPORT												
General Information						Site Information						
Analyst <i>ANDREAS PALEOLOGOS</i> Agency or Co. <i>Engineering Faculty</i> Date Performed <i>17/02/2012</i> Time Period <i>07:30 - 08:30</i>						Intersection <i>EMILIA PONENTE-ASSE S/O</i> Area Type <i>All other areas</i> Jurisdiction <i>Bologna</i> Analysis Year <i>FEBBRAIO 2012</i> Project ID <i>Intersection Verification (Present Scenario)</i>						
Volume and Timing Input												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Number of lanes, N_1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1
Lane group	L	T	R	L	T	R	L	T			TR	R
Volume, V (vph)	363	161	191	889	486	401	66	1276			868	97
% Heavy vehicles, %HV	2	22	1	3	12	1	1	1			2	1
Peak-hour factor, PHF	0.90	0.90	0.90	0.95	0.95	0.95	0.87	0.87			0.93	0.93
Pretimed (P) or actuated (A)	P	P	P	P	P	P	P	P			P	P
Start-up lost time, l_1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0			2.0	2.0
Extension of effective green, e	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0			2.0	2.0
Arrival type, AT	3	3	3	3	3	3	3	3			3	3
Unit extension, UE	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			3.0	3.0
Filtering/metering, I	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			1.000	1.000
Initial unmet demand, Q_b	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	5.0
Ped / Bike / RTOR volumes	20	0	0	20	0	0				20	0	0
Lane width	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0			4.0	4.0
Parking / Grade / Parking	N	0	N	N	0	N	N	0	N	N	0	N
Parking maneuvers, N_m												
Buses stopping, N_B	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0
Min. time for pedestrians, G_p	19.4			23.4						21.4		
Phasing	WB Only	EB Only	03	04	NS Perm	NB Only	07	08				
Timing	G = 39.0	G = 22.0	G =	G =	G = 69.0	G = 7.0	G =	G =				
	Y = 30	Y = 30	Y =	Y =	Y = 30	Y = 30	Y =	Y =				
Duration of Analysis, T = 0.25							Cycle Length, C = 149.0					
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Adjusted flow rate, v	403	179	212	936	512	422	76	1467			933	104
Lane group capacity, c	273	240	237	930	464	427	178	1042			901	757
v/c ratio, X	1.48	0.75	0.89	1.01	1.10	0.99	0.43	1.41			1.04	0.14
Total green ratio, g/C	0.15	0.15	0.15	0.26	0.26	0.26	0.53	0.53			0.46	0.46
Uniform delay, d_1	63.5	61.7	63.3	55.0	55.0	55.0	56.3	35.0			40.0	23.5

Progression factor, PF	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			1.000	1.000
Delay calibration, k	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50			0.50	0.50
Incremental delay, d_2	233.1	18.9	36.4	31.1	73.0	40.7	7.3	189.3			39.5	0.4
Initial queue delay, d_3	65.9	12.3	30.4	19.4	38.8	36.9	9.9	17.3			20.0	0.4
Control delay	362.5	92.9	130.1	105.4	166.7	132.6	73.5	241.6			99.5	24.2
Lane group LOS	F	F	F	F	F	F	E	F			F	C
Approach delay	239.7			128.4			233.3			92.0		
Approach LOS	F			F			F			F		
Intersection delay	168.9			$X_c = 1.33$			Intersection LOS			F		

4.4 CONFRONTO DEI RISULTATI

A) Stato attuale e suo incremento per la rotatoria Granatieri di Sardegna.

Come sopra affermato, al fine di determinare il LOS è stato utilizzato il software SIDRA sia per lo studio attuale della rotatoria, che per il suo incremento.

In sede di confronto si è deciso di tralasciare i dati relativi alle due punte pomeriggio e di utilizzare solo i dati di output delle due punte mattina ritenuti più significativi, risultando quella mattiniera la fascia oraria di massimo flusso veicolare.

Si riportano, quindi, calcolati dal programma SIDRA sulla base dei dati di progetto e di flusso veicolare inseriti, i sopraccitati dati di output strutturati in una tabella di sintesi per renderne più chiaro ed immediato l'approccio di confronto, sottolineando che si fa riferimento all'intera intersezione:


Tab. 4.6 - Misure di Output per lo stato attuale e il suo incremento.

MISURE DI OUTPUT	STATO ATTUALE (Punta mattino)	INCREMENTO 10% (Punta mattino)
Demand Flow	3780 veh./h	4148 veh./h
Capacity	5991 veh./h	5682 veh./h
Degree of Saturation	0.849 v/c	1.293 v/c
Average Delay	11.4 sec	55.9 sec
Level of Service	LOS B	LOS E
Queue	107 m	606 m
Effective Stop Rate	0.81	1.69
Average Speed	39.1 Km/h	21.5 Km/h
Oper Cost	1490 \$/h	2844 \$/h

Si può notare quindi che il ritardo medio per veicolo è in entrambi i casi inferiore (abbondantemente inferiore al secondo caso del suo incremento) al valore massimo di 10 fissato nella tabella per le TWSC e tale, quindi, da comportare per un livello di qualità di circolazione di tipo **B** per lo stato attuale ed **E** per il suo incremento di 10%, il grado di saturazione rimane in sottosaturazione per il primo caso, ma nel secondo arriva in sovra saturazione connotato da un lento smaltimento dei flussi veicolari con code eccessive.

Di seguito riportiamo i risultati delle due situazioni descritte in modo dettagliato come sono forniti dal programma SIDRA, tab. 4.7 e 4.8

Tab. 4.7 - Risultati stato attuale rotatoria Granatieri di Sardegna



Movement Summary

Title
Roundabout

Vehicle Movements

Mov No	Turn	Dem Flow (veh/h)	Cap (veh/h)	Deg of Satn (v/c)	Aver Delay (sec)	Level of Service	95% Back of Queue (m)	Eff. Stop Rate	Aver Speed (km/h)	Oper Cost (\$/h)
Caprara Sud										
1	L	133	2239	0.828	10.1	LOS B	107	0.92	40.3	708
1	T	1287	2239	0.828	10.1	LOS B	107	0.92	40.3	708
1	R	435	2239	0.828	10.1	LOS B	107	0.92	40.3	708
Approach		1855	2239	0.829	10.1	LOS B	107	0.92	40.3	708
Dell'Ospedale										
4	L	74	298	0.849	53.2	LOS D	59	1.66	22.4	171
4	T	87	298	0.849	53.2	LOS D	59	1.66	22.4	171
4	R	92	298	0.849	53.2	LOS D	59	1.66	22.4	171
Approach		253	298	0.848	53.2	LOS D	59	1.66	22.4	171
V.Sabena										
7	L	77	2239	0.503	3.2	LOS A	25	0.37	44.8	380
7	T	840	2239	0.503	3.2	LOS A	25	0.37	44.8	380
7	R	210	2239	0.503	3.2	LOS A	25	0.37	44.8	380
Approach		1127	2239	0.503	3.2	LOS A	25	0.37	44.8	380
Caprara Nord										
27	L	51	567	0.243	10.0	LOS A	9	0.78	40.9	55
27	T	78	567	0.243	10.0	LOS A	9	0.78	40.9	55
27	R	9	567	0.243	10.0	LOS A	9	0.78	40.9	55
Approach		138	567	0.243	10.0	LOS A	9	0.78	40.9	55
Nanni Costa										
10	L	287	648	0.628	14.9	LOS B	35	1.01	37.7	177
10	T	43	648	0.628	14.9	LOS B	35	1.01	37.7	177
10	R	77	648	0.628	14.9	LOS B	35	1.01	37.7	177
Approach		407	648	0.628	14.9	LOS B	35	1.01	37.7	177
All Vehicles		3780	5991	0.849	11.4	LOS B	107	0.81	39.1	1490

Tab. 4.8 - Risultati incremento 10% del flusso rotatoria Granatieri di Sardegna

Movement Summary



Rotatoria

Roundabout

Vehicle Movements

Mov No	Turn	Dem Flow (veh/h)	Cap (veh/h)	Deg of Satn (v/c)	Aver Delay (sec)	Level of Service	95% Back of Queue (m)	Eff. Stop Rate	Aver Speed (km/h)	Oper Cost (\$/h)
Caprara Sud										
1	L	146	2141	0.952	27.4	LOS C	252	1.70	30.3	1028
1	T	1415	2141	0.952	27.4	LOS C	252	1.70	30.3	1028
1	R	478	2141	0.952	27.4	LOS C	252	1.70	30.3	1028
Approach		2039	2141	0.952	27.4	LOS C	252	1.70	30.3	1028
Dell'Ospedale										
4	L	81	208	1.293	599.9	LOS F	606	8.77	3.4	1128
4	T	96	208	1.293	599.9	LOS F	606	8.77	3.4	1128
4	R	92	208	1.293	599.9	LOS F	606	8.77	3.4	1128
Approach		269	208	1.290	599.9	LOS F	606	8.77	3.4	1128
V.Sabena										
7	L	85	2207	0.562	3.6	LOS A	31	0.45	44.7	420
7	T	924	2207	0.562	3.6	LOS A	31	0.45	44.7	420
7	R	231	2207	0.562	3.6	LOS A	31	0.45	44.7	420
Approach		1240	2207	0.562	3.6	LOS A	31	0.45	44.7	420
Caprara Nord										
27	L	56	519	0.293	10.9	LOS B	11	0.81	40.2	61
27	T	86	519	0.293	10.9	LOS B	11	0.81	40.2	61
27	R	10	519	0.293	10.9	LOS B	11	0.81	40.2	61
Approach		152	519	0.293	10.9	LOS B	11	0.81	40.2	61
Nanni Costa										
10	L	316	607	0.738	19.3	LOS B	49	1.15	35.2	208
10	T	47	607	0.738	19.3	LOS B	49	1.15	35.2	208
10	R	85	607	0.738	19.3	LOS B	49	1.15	35.2	208
Approach		448	607	0.739	19.3	LOS B	49	1.15	35.2	208
All Vehicles		4148	5682	1.293	55.9	LOS E	606	1.69	21.5	2844

B) Stato attuale e sua ottimizzazione dell' intersezione Via Emilia.

Anche in questo caso ,in sede di confronto si è deciso di tralasciare i dati relativi alla punta pomeriggio e di utilizzare solo i dati di output della punta mattina ritenuta più significativa, risultando quella mattiniera la fascia oraria di massimo flusso veicolare.

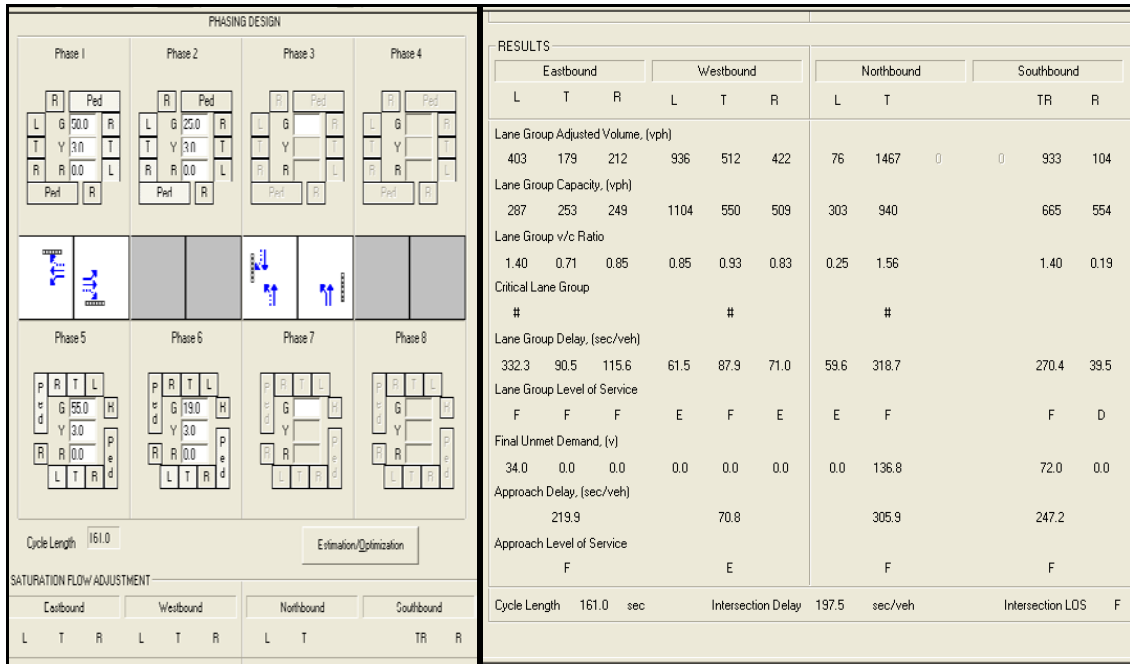
Si riportano, quindi, calcolati dal programma HCS 2000 sulla base dei dati di progetto e di flusso veicolare inseriti, i sopraccitati dati di output strutturati in una tabella di sintesi per renderne più chiaro ed immediato l'approccio di confronto tra lo stato attuale e la sua ottimizzazione sottolineando che si fa riferimento all'intera intersezione, tab. 4.9

Inoltre riportiamo anche un confronto diretto delle due situazioni come riportato dal programma HCS 2000 nelle fig. 4.11 e 4.12 aggiungendo anche la tab. 4.10 dei risultati dettagliati.

Tab. 4.9 - Misure di Output per lo stato attuale e il suo incremento.

MISURE DI OUTPUT	STATO ATTUALE (Punta mattino)				OTTIMIZZAZIONE (Punta mattino)			
Cycle length	161 sec				149 sec			
Intersection delay	197.5 sec/veh				168.9 sec/veh			
Intersection LOS	F				F			
Approach delay	EB	WB	NB	SB	EB	WB	NB	SB
	219.9	70.8	305.9	247.2	239.7	128.4	233.3	92.0
Approach LOS	F	E	F	F	F	F	F	F

Fig. 4.11 - Fasi semaforiche attuali e LOS HCS 2000 per l'intersezione Via Emilia – Asse S/O



Tab. 4.10 - Confronto Risultati HCS 2000

HCS2000™ DETAILED REPORT												
General Information						Site Information						
Analyst ANDREAS PALEOLOGOS Agency or Co. Engineering Faculty Date Performed 17/02/2012 Time Period 07:30 - 08:30						Intersection EMILIA PONENTE-ASSE S/O Area Type All other areas Jurisdiction Bologna Analysis Year FEBBRAIO 2012 Project ID Intersection Verification (Present Scenario)						
Volume and Timing Input												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Number of lanes, N _i	1	1	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1
Lane group	L	T	R	L	T	R	L	T			TR	R
Volume, V (vph)	363	161	191	889	486	401	66	1276			868	97
% Heavy vehicles, %HV	2	22	1	3	12	1	1	1			2	1
Peak-hour factor, PHF	0.90	0.90	0.90	0.95	0.95	0.95	0.87	0.87			0.93	0.93
Pretimed (P) or actuated (A)	P	P	P	P	P	P	P	P			P	P
Start-up lost time, I _s	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0			2.0	2.0
Extension of effective green, e	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0			2.0	2.0
Arrival type, AT	3	3	3	3	3	3	3	3			3	3
Unit extension, UE	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			3.0	3.0
Filtering/metering, I	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			1.000	1.000
Initial unmet demand, Q ₀	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	5.0
Ped / Bike / RTOR volumes	20	0	0	20	0	0					20	0
Lane width	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0			4.0	4.0
Parking / Grade / Parking	N	0	N	N	0	N	N	0	N	N	0	N
Parking maneuvers, N _m												
Buses stopping, N _b	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0
Min. time for pedestrians, C _p	19.4			23.4						21.4		
Phasing	WB Only	EB Only	03	04	NS Perm	NB Only	07	08				
Timing	G = 50.0 Y = 30	G = 25.0 Y = 30	G = Y =	G = Y =	G = 55.0 Y = 30	G = 19.0 Y = 30	G = Y =	G = Y =				
Duration of Analysis, T = 0.25							Cycle Length, C = 161.0					
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Adjusted flow rate, v _c	403	179	212	936	512	422	76	1467			933	104
Lane group capacity, c	287	253	249	1104	550	509	303	940			665	554
v/c ratio, X	1.40	0.71	0.85	0.85	0.93	0.83	0.25	1.56			1.40	0.19
Total green ratio, g/C	0.16	0.16	0.16	0.31	0.31	0.31	0.48	0.48			0.34	0.34
Uniform delay, d ₁	68.0	65.5	67.2	52.4	54.7	52.4	55.0	42.0			53.0	38.0

HCS2000™ DETAILED REPORT												
General Information						Site Information						
Analyst ANDREAS PALEOLOGOS Agency or Co. Engineering Faculty Date Performed 17/02/2012 Time Period 07:30 - 08:30						Intersection EMILIA PONENTE-ASSE S/O Area Type All other areas Jurisdiction Bologna Analysis Year FEBBRAIO 2012 Project ID Intersection Verification (Present Scenario)						
Volume and Timing Input												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Number of lanes, N _i	1	1	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1
Lane group	L	T	R	L	T	R	L	T			TR	R
Volume, V (vph)	363	161	191	889	486	401	66	1276			868	97
% Heavy vehicles, %HV	2	22	1	3	12	1	1	1			2	1
Peak-hour factor, PHF	0.90	0.90	0.90	0.95	0.95	0.95	0.87	0.87			0.93	0.93
Pretimed (P) or actuated (A)	P	P	P	P	P	P	P	P			P	P
Start-up lost time, I _s	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0			2.0	2.0
Extension of effective green, e	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0			2.0	2.0
Arrival type, AT	3	3	3	3	3	3	3	3			3	3
Unit extension, UE	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			3.0	3.0
Filtering/metering, I	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			1.000	1.000
Initial unmet demand, Q ₀	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			5.0	5.0
Ped / Bike / RTOR volumes	20	0	0	20	0	0					20	0
Lane width	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0			4.0	4.0
Parking / Grade / Parking	N	0	N	N	0	N	N	0	N	N	0	N
Parking maneuvers, N _m												
Buses stopping, N _b	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0
Min. time for pedestrians, C _p	19.4			23.4						21.4		
Phasing	WB Only	EB Only	03	04	NS Perm	NB Only	07	08				
Timing	G = 39.0 Y = 30	G = 22.0 Y = 30	G = Y =	G = Y =	G = 69.0 Y = 30	G = 7.0 Y =	G = Y =	G = Y =				
Duration of Analysis, T = 0.25							Cycle Length, C = 149.0					
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Adjusted flow rate, v _c	403	179	212	936	512	422	76	1467			933	104
Lane group capacity, c	273	240	237	930	464	427	178	1042			901	757
v/c ratio, X	1.48	0.75	0.89	1.01	1.10	0.99	0.43	1.41			1.04	0.14
Total green ratio, g/C	0.15	0.15	0.15	0.26	0.26	0.26	0.53	0.53			0.46	0.46
Uniform delay, d ₁	63.5	61.7	63.3	55.0	55.0	55.0	56.3	35.0			40.0	23.5

Progression factor, PF	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			1.000	1.000
Delay calibration, k	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50			0.50	0.50
Incremental delay, d ₂	201.5	15.4	28.9	8.1	24.6	14.4	2.0	257.5			190.3	0.7
Initial queue delay, d ₃	62.7	9.6	19.5	1.0	8.6	4.1	2.6	19.1			27.1	0.7
Control delay	332.3	90.5	115.6	61.5	87.9	71.0	59.6	318.7			270.4	39.5
Lane group LOS	F	F	F	E	F	E	E	F			F	D
Approach delay	219.9			70.8			305.9			247.2		
Approach LOS	F			E			F			F		
Intersection delay	197.5			X _c = 1.33			Intersection LOS			F		

Progression factor, PF	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			1.000	1.000
Delay calibration, k	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50			0.50	0.50
Incremental delay, d ₂	233.1	18.9	36.4	31.1	73.0	40.7	7.3	189.3			39.5	0.4
Initial queue delay, d ₃	65.9	12.3	30.4	19.4	38.8	36.9	9.9	17.3			20.0	0.4
Control delay	362.5	92.9	130.1	105.4	166.7	132.6	73.5	241.6			99.5	24.2
Lane group LOS	F	F	F	F	F	F	E	F			F	C
Approach delay	239.7			128.4			233.3			92.0		
Approach LOS	F			F			F			F		
Intersection delay	168.9			X _c = 1.33			Intersection LOS			F		

CONCLUSIONI

Dall' analisi effettuata sullo stato circolatorio attuale, emerge chiaramente come la circolazione della zona in esame presenta, in particolare nelle intersezioni e nei tronchi stradali studiati, caratteristiche progettuali ormai largamente insufficienti a far fronte agli attuali flussi di traffico veicolare, per cui l' applicazione delle moderne tecniche di analisi dei flussi, tramite applicazione del' HCM, fa sì che i livelli di servizio rilevati risultino decisamente inferiori a quelli necessari per una ottimale circolazione del traffico.

Un tale assetto circolatorio va imputato non tanto alla distribuzione spaziale delle strade locali comprese tra i due tronchi stradali quanto alle caratteristiche geometriche del' intersezione ma anche della rotatoria che sono certamente inadeguate (soprattutto nel' intersezione) a smaltire gli attuali flussi di traffico che nel primo caso raggiungono i 4798 veh./h e nel secondo i 3780 veh./h

Con valori di questa portata, sono risultati vani tutti i tentativi di miglioramento mediante interventi di "breve termine" quali rifasature dei cicli semaforici.

Va annoverato inoltre, l' importante beneficio apportato da questo tipo di infrastrutture in termini di sicurezza, quale risultano di separazione dei flussi e drastica diminuzione dei punti di conflitto, a cui va aggiunta ancora una più semplice ed economica manutenzione dell' intersezione, contrariamente, invece a quanto bisogna far fronte nel caso di regolazione semaforica.

Nell' ultimo capitolo, infine, è stato appurato invece, il limite di queste infrastrutture che emerge nel momento in cui nel nodo confluiscono tronchi aventi flussi veicolari fortemente sbilanciati. In esso infatti, si è dimostrato come nel caso della rotonda Granatieri di Sardegna, la presenza dell' oltre il 40% di flusso veicolare orario su Via Prati di Caprara e la stessa percentuale su Viale Sabena, porti questi tronchi ad avere un peso nettamente superiore rispetto agli altri due, condizioni discordante con la

filosofia delle rotatorie, ove tutti i tronchi ad esse confluenti presentano condizioni paritarie.

In conclusione, ci sentiamo di affermare che la risoluzione d' intersezioni largamente inadeguate non trova piena risposta neanche negli interventi infrastrutturali.

Pertanto la sola interazione tra un Trasporto Pubblico Locale più adeguato, opportuni interventi infrastrutturali, politiche di disincentivo dell' utilizzo del mezzo privato e più in generale una mirata Pianificazione dei Trasporti può portare ad un miglioramento dell' attuale condizione del Traffico.

ALLEGATO I

CLASSIFICAZIONE DELLE STRADE

Ai fini dell'applicazione delle norme del nuovo codice della strada si definisce "strada" l'area ad uso pubblico destinata alla circolazione dei pedoni, dei veicoli e degli animali. Le strade sono classificate, riguardo alle loro caratteristiche costruttive, tecniche e funzionali, nei seguenti tipi:

A-Autostrade;

B-Strade extraurbane principali;

C - Strade extraurbane secondarie;

D - Strade urbane di scorrimento;

E - Strade urbane di quartiere;

F - Strade locali;

F-bis. Itinerari ciclopedonali.

Le strade inoltre, devono avere le seguenti caratteristiche minime:

A - Autostrada: strada extraurbana o urbana a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia, eventuale banchina pavimentata a sinistra e corsia di emergenza o banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso e di accessi privati, dotata di recinzione e di sistemi di assistenza all'utente lungo l'intero tracciato, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore e contraddistinta da appositi segnali di inizio e fine. Deve essere attrezzata con apposite aree di servizio ed aree di parcheggio, entrambe con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione.

B - Strada extraurbana principale: strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia e banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso, con accessi alle proprietà laterali coordinati, contraddistinta dagli appositi segnali di inizio e fine, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore; per eventuali altre categorie di utenti devono essere previsti opportuni spazi. Deve essere attrezzata con apposite aree di servizio, che comprendano spazi per la sosta, con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione.

C - Strada extraurbana secondaria: strada ad unica carreggiata con almeno una corsia per senso di marcia e banchine.

D - Strada urbana di scorrimento: strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico, ciascuna con almeno due corsie di marcia, ed una eventuale corsia riservata ai mezzi pubblici, banchina pavimentata a destra e marciapiedi, con le eventuali intersezioni a raso semaforizzate; per la sosta sono previste apposite aree o fasce laterali esterne alla carreggiata, entrambe con immissioni ed uscite concentrate.

E - Strada urbana di quartiere: strada ad unica carreggiata con almeno due corsie, banchine pavimentate e marciapiedi; per la sosta sono previste aree attrezzate con apposita corsia di manovra, esterna alla carreggiata.

F - Strada locale: strada urbana od extraurbana opportunamente sistemata non facente parte degli altri tipi di strade.

F-bis. Itinerario ciclopedonale: strada locale, urbana, extraurbana o vicinale, destinata prevalentemente alla percorrenza pedonale e ciclabile e caratterizzata da una sicurezza intrinseca a tutela dell'utenza debole della strada.

Inoltre:

È denominata "strada di servizio" la strada affiancata ad una strada principale (autostrada, strada extraurbana principale, strada urbana di scorrimento) avente la funzione di consentire la sosta ed il raggruppamento degli accessi dalle proprietà laterali alla strada principale e viceversa, nonché il movimento e le manovre dei veicoli non ammessi sulla strada principale stessa. Per le esigenze di carattere amministrativo e con riferimento all'uso e alle tipologie dei collegamenti svolti, le strade, si distinguono in strade "statali", "regionali", "provinciali", "comunali", secondo le indicazioni che seguono. Enti proprietari delle dette strade sono rispettivamente lo Stato, la regione, la provincia, il comune. Per le strade destinate esclusivamente al traffico militare e denominate "strade militari", ente proprietario è considerato il comando della regione militare territoriale.

Le strade extraurbane, lettere B, C ed F si distinguono in:

A-Statali, quando:

a) costituiscono le grandi direttrici del traffico nazionale;

- b) congiungono la rete viabile principale dello Stato con quelle degli Stati limitrofi;
- c) congiungono tra loro i capoluoghi di regione ovvero i capoluoghi di provincia situati in regioni diverse, ovvero costituiscono diretti ed importanti collegamenti tra strade statali;
- d) allacciano alla rete delle strade statali i porti marittimi, gli aeroporti, i centri di particolare importanza industriale, turistica e climatica;
- e) servono traffici interregionali o presentano particolare interesse per l'economia di vaste zone del territorio nazionale.

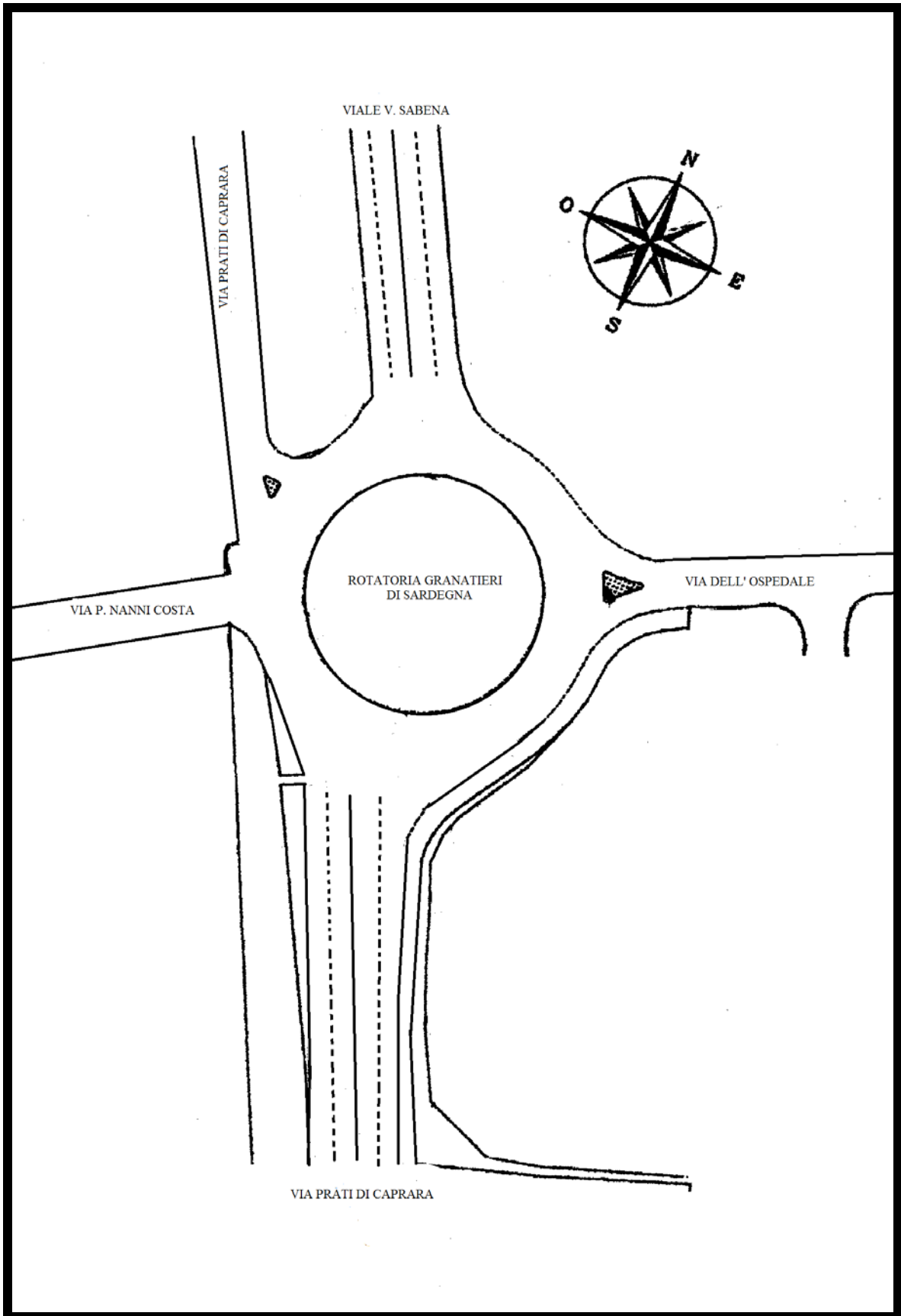
B - Regionali, quando allacciano i capoluoghi di provincia della stessa regione tra loro o con il capoluogo di regione ovvero allacciano i capoluoghi di provincia o i comuni con la rete statale se ciò sia particolarmente rilevante per ragioni di carattere industriale, commerciale, agricolo, turistico e climatico.

C - Provinciali, quando allacciano al capoluogo di provincia capoluoghi dei singoli comuni della rispettiva provincia o più capoluoghi di comuni tra loro ovvero quando allacciano alla rete statale o regionale i capoluoghi di comune, se ciò sia particolarmente rilevante per ragioni di carattere industriale, commerciale, agricolo, turistico e climatico.

D - Comunali, quando congiungono il capoluogo del comune con le sue frazioni o le frazioni fra loro, ovvero congiungono il capoluogo con la stazione ferroviaria, tranviaria o automobilistica, con un aeroporto o porto marittimo, lacuale o fluviale, con interporti o nodi di scambio intermodale o con le località che sono sede di essenziali servizi interessanti la collettività comunale. Ai fini del presente codice, le strade "vicinali" sono assimilate alle strade comunali.

Le strade urbane, lettere D, E e F, sono sempre comunali quando siano situate nell'interno dei centri abitati, eccettuati i tratti interni di strade statali, regionali o provinciali che attraversano centri abitati con popolazione non superiore a diecimila abitanti.

ALLEGATO II



RILEVAMENTI
26/01/2012 mattino (07:30-09:00)

VIA P. DI CAPRARA SUD DIREZIONE VIA DELL' OSPEDALE

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	60' - 75'	75' - 90'	TOTALE
LEGGERI	109	112	107	95	112	97	423+209
PESANTI	1	1	2	1	2	1	5+3
MOTO	2	1	4	3	4	3	10+7

	0' - 60'	60' - 90'
VOLUME TOTALE	435	209
HV	1%	1%

VIA P. DI CAPRARA SUD DIREZIONE V.LE V. SABENA

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	60' - 75'	75' - 90'	TOTALE
LEGGERI	291	279	270	257	238	239	1097+447
PESANTI	2	0	4	1	2	2	7+4
MOTO	4	15	16	17	12	10	52+22

	0' - 60'	60' - 90'
VOLUME TOTALE	1140	466
HV	1%	1%

VIA P. DI CAPRARA SUD DIREZIONE VIA P. NANNI COSTA

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	60' - 75'	75' - 90'	TOTALE
LEGGERI	25	31	39	32	27	29	127+56
PESANTI	1	1	0	1	0	0	3
MOTO	1	1	1	1	4	2	4+6

	0' - 60'	60' - 90'
VOLUME TOTALE	133	60
HV	2%	0%

VIA P. DI CAPRARA SUD DIREZIONE VIA P. DI CAPRARA NORD

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	60' - 75'	75' - 90'	TOTALE
LEGGERI	19	25	39	28	27	30	111+57
PESANTI	0	2	0	2	1	0	4+1
MOTO	0	0	0	1	0	0	1

	0' - 60'	60' - 90'
VOLUME TOTALE	116	58
HV	1%	2%

VIA DELL' OSPEDALE DIREZIONE V.LE V. SABENA

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	60' - 75'	75' - 90'	TOTALE
LEGGERI	22	19	21	15	15	14	77+29
PESANTI	2	1	2	2	1	2	7+3
MOTO	2	3	3	4	3	4	12+7

	0' - 60'	60' - 90'
VOLUME TOTALE	92	39
HV	7%	8%

VIA DELL' OSPEDALE DIREZIONE VIA P. NANNI COSTA

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	60' - 75'	75' - 90'	TOTALE
LEGGERI	4	9	15	7	6	7	35+13
PESANTI	1	1	0	1	0	0	3
MOTO	0	1	1	0	2	1	2+3

	0' - 60'	60' - 90'
VOLUME TOTALE	39	15
HV	8%	0%

VIA DELL' OSPEDALE DIREZIONE VIA P. DI CAPRARA NORD

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	60' - 75'	75' - 90'	TOTALE
LEGGERI	9	11	12	13	10	14	45+24
PESANTI	1	0	1	0	1	1	2+2
MOTO	0	1	1	0	0	0	2

	0' - 60'	60' - 90'
VOLUME TOTALE	48	26
HV	4%	7%

VIA DELL' OSPEDALE DIREZIONE VIA P. DI CAPRARA SUD

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	60' - 75'	75' - 90'	TOTALE
LEGGERI	19	15	17	19	21	16	70+37
PESANTI	1	0	0	0	1	0	1+1
MOTO	0	0	3	1	1	0	4+1

	0' - 60'	60' - 90'
VOLUME TOTALE	74	39
HV	1%	2%

V.LE V. SABENA DIREZIONE VIA P. DI CAPRARA NORD

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	60' - 75'	75' – 90'	TOTALE
LEGGERI	14	14	15	20	27	40	63+67
PESANTI	0	0	0	0	0	0	0
MOTO	0	0	0	0	0	0	0

	0' – 60'	60' – 90'
VOLUME TOTALE	63	67
HV	0%	0%

V.LE V. SABENA DIREZIONE VIA P. NANNI COSTA

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' -60'	60' – 75'	75' – 90'	TOTALE
LEGGERI	21	37	36	48	53	61	142+114
PESANTI	0	0	0	0	0	0	0
MOTO	1	2	2	3	1	2	8+3

	0' – 60'	60' – 90'
VOLUME TOTALE	147	116
HV	0%	0%

V.LE V. SABENA DIREZIONE VIA P. DI CAPRARA SUD

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	60' – 75'	75' – 90'	TOTALE
LEGGERI	218	212	178	211	192	200	819+392
PESANTI	1	1	2	2	1	0	6+1
MOTO	7	5	4	6	9	7	22+16

	0' – 60'	60' – 90'
VOLUME TOTALE	840	364
HV	1%	0%

V.LE V. SABENA DIREZIONE VIA DELL' OSPEDALE

	0' – 15'	15' -30'	30' – 45'	45' – 60'	60' – 75'	75' – 90'	TOTALE
LEGGERI	15	20	13	21	10	12	69+22
PESANTI	1	1	0	1	1	0	3+1
MOTO	2	2	1	2	3	2	7+5

	0' – 60'	60' – 90'
VOLUME TOTALE	77	26
HV	3%	4%

VIA P. NANNI COSTA DIREZIONE VIA P. DI CAPRARA SUD

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	60' - 75'	75' - 90'	TOTALE
LEGGERI	16	14	16	22	25	17	68+42
PESANTI	0	0	1	0	0	1	1+1
MOTO	1	3	3	4	3	4	11+7

	0' - 60'	60' - 90'
VOLUME TOTALE	77	48
HV	1%	2%

VIA P. NANNI COSTA DIREZIONE VIA DELL' OSPEDALE

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	60' - 75'	75' - 90'	TOTALE
LEGGERI	12	7	7	15	12	13	41+25=66
PESANTI	0	0	0	0	0	0	0
MOTO	1	1	0	1	0	0	3

	0' - 60'	60' - 90'
VOLUME TOTALE	43	25
HV	0%	0%

VIA P. NANNI COSTA DIREZIONE V.LE V. SABENA

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	60' - 75'	75' - 90'	TOTALE
LEGGERI	51	59	58	56	52	41	224+93
PESANTI	1	0	0	0	1	2	1+3
MOTO	7	10	8	7	4	6	32+10

	0' - 60'	60' - 90'
VOLUME TOTALE	247	103
HV	0%	3%

VIA P. NANNI COSTA DIREZIONE P. DI CAPRARA NORD

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	60' - 75'	75' - 90'	TOTALE
LEGGERI	6	12	11	11	7	8	40+15
PESANTI	0	0	0	0	0	0	0
MOTO	0	0	0	0	1	0	0+1

	0' - 60'	60' - 90'
VOLUME TOTALE	40	15
HV	0%	0%

VIA P. DI CAPRARA NORD DIREZIONE VIA P. NANNI COSTA

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	60' – 75'	75' – 90'	TOTALE
LEGGERI	3	2	1	2	3	1	8+4
PESANTI	0	0	0	1	0	0	1
MOTO	0	0	0	0	0	0	0

	0' – 60'	60' – 90'
VOLUME TOTALE	9	4
HV	11%	0%

VIA P. DI CAPRARA NORD DIREZIONE VAI P. DI CAPRARA SUD

	0' – 15'	15' – 30'	30' -45'	45' – 60'	60 – 75'	75' – 90'	TOTALE
LEGGERI	10	18	15	13	12	10	56+22
PESANTI	0	0	0	1	1	0	1+1
MOTO	0	0	1	0	0	0	1

	0' – 60'	60' – 90'
VOLUME TOTALE	57	23
HV	2%	4%

VIA P. DI CAPRARA NORD DIREZIONE VIAL DELL' OSPEDALE

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	60' – 75'	75' – 90'	TOTALE
LEGGERI	3	6	4	7	7	4	20+11
PESANTI	0	0	0	0	0	0	0
MOTO	0	0	0	0	1	0	1

	0' – 60'	60' – 90'
VOLUME TOTALE	21	11
HV	0%	0%

VIA P. DI CAPRARA NORD DIREZIONE V.LE V. SABENA

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	60' – 75'	75' – 90'	TOTALE
LEGGERI	9	14	13	15	13	13	51+26
PESANTI	0	0	0	1	1	0	1+1
MOTO	0	0	0	0	0	0	0

	0' – 60'	60' – 90'
VOLUME TOTALE	52	27
HV	2%	4%

RILEVAMENTI
26/01/2012 pomeriggio (18:30-19:30)

VIA P. DI CAPRARA SUD DIREZIONE VIA DELL' OSPEDALE

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
PESANTI	0	1	1	0	2
LEGGERI	117	129	97	92	435
MOTO	3	2	3	5	13

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	446
HV	0%

VIA P. DI CAPRARA SUD DIREZIONE V.LE V. SABENA

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
PESANTI	4	5	4	3	16
LEGGERI	300	271	254	247	1072
MOTO	11	9	8	12	40

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	1116
HV	1%

VIA P. DI CAPRARA SUD DIREZIONE VIA P. DI CAPRARA NORD

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
PESANTI	0	2	2	1	5
LEGGERI	25	26	25	29	105
MOTO	1	1	2	3	7

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	115
HV	7%

VIA P. DI CAPRARA SUD DIREZIONE VIA P. NANNI COSTA

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
PESANTI	1	3	0	2	6
LEGGERI	24	29	24	37	114
MOTO	2	1	3	2	8

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	125
HV	5%

VIA DELL' OSPEDALE DIREZIONE V.LE V. SABENA

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
PESANTI	4	1	1	0	6
LEGGERI	21	12	14	22	69
MOTO	2	1	3	1	7

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	80
HV	7%

VIA DELL' OSPEDALE DIREZIONE VIA P. DI CAPRARA NORD

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
PESANTI	1	0	0	0	1
LEGGERI	5	4	7	6	22
MOTO	1	3	2	1	7

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	28
HV	3%

VIA DELL' OSPEDALE DIREZIONE VIA P.N. COSTA

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
PESANTI	1	0	0	0	1
LEGGERI	3	3	6	7	19
MOTO	1	1	2	1	5

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	23
HV	4%

VIA DELL' OSPEDALE DIREZIONE VIA P. DI CAPRARA SUD

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
PESANTI	1	1	0	1	3
LEGGERI	15	14	16	11	56
MOTO	2	2	1	3	8

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	65
HV	4%

V.LE V. SABENA DIREZIONE VIA P. DI CAPRARA NORD

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
PESANTI	1	2	0	0	3
LEGGERI	5	4	5	7	21
MOTO	3	2	3	1	9

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	30
HV	10%

V.LE V. SABENA DIREZIONE VIA P. N. COSTA

	0' – 15'	15' – 30'	30' - 45'	45' – 60'	TOTALE
PESANTI	1	2	2	1	6
LEGGERI	42	59	47	33	181
MOTO	4	2	3	6	15

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	197
HV	3%

V.LE V. SABENA DIREZIONE VIA P. DI CAPRARA SUD

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
PESANTI	3	3	4	1	11
LEGGERI	222	197	199	185	803
MOTO	9	6	8	11	34

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	838
HV	1%

V.LE V. SABENA DIREZIONE VIA DELL' OSPEDALE

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
PESANTI	1	2	1	2	6
LEGGERI	26	27	22	26	101
MOTO	3	2	3	2	10

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	114
HV	5%

VIA P. NANNI COSTA DIREZIONE P. DI CAPRARA SUD

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
PESANTI	1	2	0	2	5
LEGGERI	23	17	24	25	89
MOTO	2	3	3	3	11

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	102
HV	5%

VIA P. NANNI COSTA DIREZIONE VIA DELL' OSPEDALE

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
PESANTI	2	1	0	1	4
LEGGERI	21	11	12	19	63
MOTO	3	2	3	2	10

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	74
HV	5%

VIA P. NANNI COSTA DIREZIONE V.LE V. SABENA

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
PESANTI	1	1	2	1	5
LEGGERI	44	52	53	40	189
MOTO	2	3	1	2	8

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	200
HV	2%

VIA P. NANNI COSTA DIREZIONE VIA P. DI CAPRARA NORD

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
PESANTI	0	0	0	0	0
LEGGERI	2	1	3	1	7
MOTO	1	2	2	0	5

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	10
HV	0%

VIA P. DI CAPRARA NORD DIREZIONE VIA P. NANNI COSTA

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
PESANTI	0	1	0	0	1
LEGGERI	3	4	1	2	10
MOTO	1	2	1	2	6

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	15
HV	6%

VIA P. DI CAPRARA NORD DIREZIONE VIA P. DI CAPRARA SUD

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
PESANTI	1	0	1	0	2
LEGGERI	13	7	3	3	26
MOTO	2	2	1	1	6

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	32
HV	6%

VIA P. DI CAPRARA NORD DIREZIONE VIA DELL' OSPEDALE

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
PESANTI	0	1	0	0	1
LEGGERI	3	5	4	3	15
MOTO	0	2	2	1	5

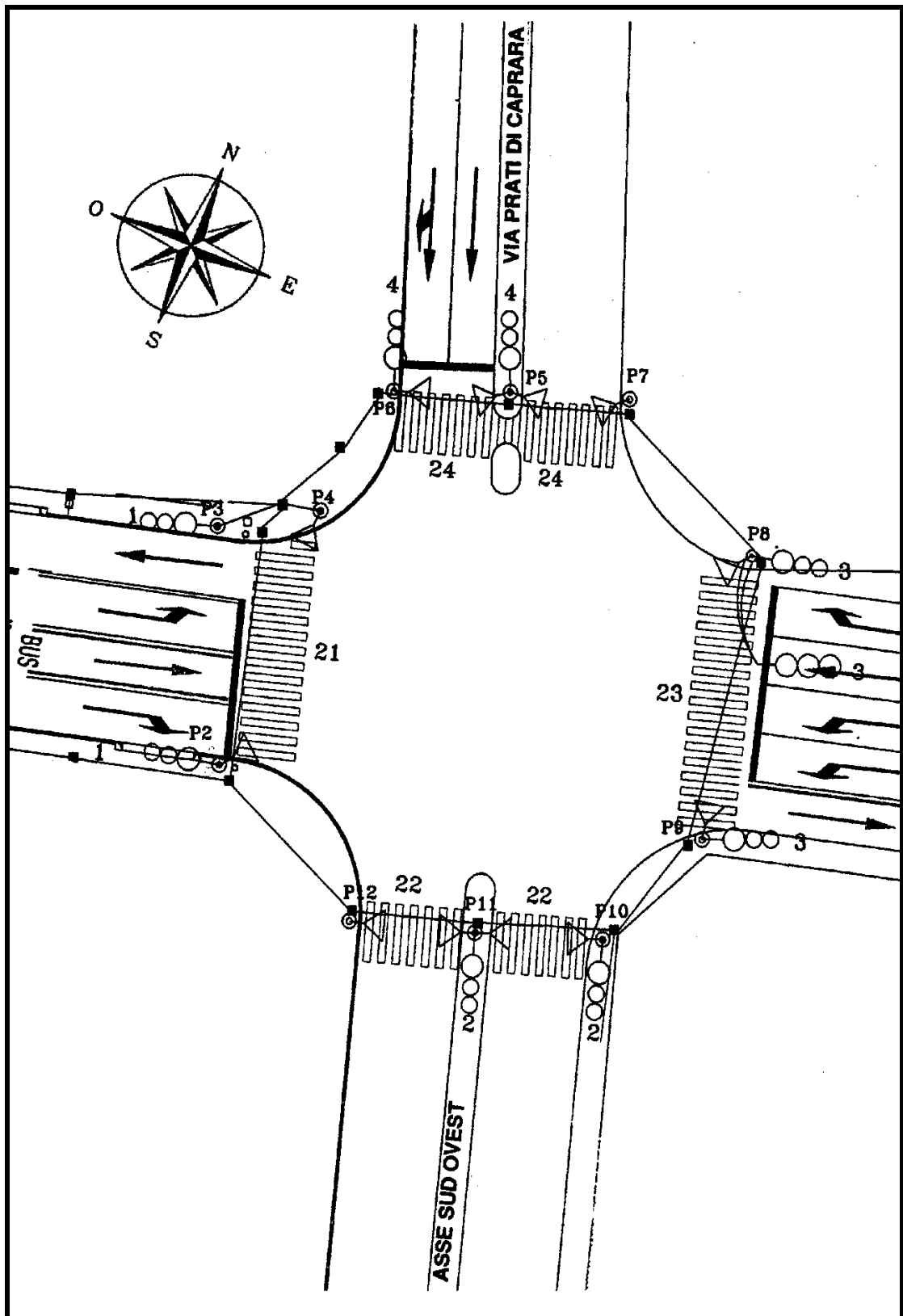
	0' – 60'
VOLUME TOTALE	20
HV	5%

VIA P. DI CAPRARA NORD DIREZIONE V.LE V. SABENA

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
PESANTI	0	1	0	1	2
LEGGERI	12	9	5	5	31
MOTO	1	2	1	2	6

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	37
HV	5%

ALLEGATO III



RILEVAMENTI
16/02/2012 mattino (07:30-08:30)

VIA P. DI CAPRARA DIREZIONE ASSE SUD OVEST

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
LEGGERI	220	223	200	202	845
PESANTI	2	3	2	3	10
MOTO	7	4	5	3	19

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	868
HV	1%
HF	0,95%

VIA P. DI CAPRARA DIREZIONE E. PONENTE EST (CENTRO)

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
LEGGERI	0	0	0	0	0
PESANTI	0	0	0	0	0
MOTO	0	0	0	0	0

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	0
HV	0%

VIA P. DI CAPRARA DIREZIONE E.PONENTE OVEST (PERIFERIA)

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
LEGGERI	25	19	22	21	87
PESANTI	0	1	1	0	2
MOTO	3	2	4	3	12

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	97
HV	2%
HF	0,90%

VIA E. PONENTE OVEST DIREZIONE P. DI CAPRARA (NORD)

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	
LEGGERI	99	78	85	89	351
PESANTI	1	0	0	1	2
MOTO	5	4	2	3	14

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	363
HV	0%
HF	0,88%

VIA E. PONENTE OVEST DIREZIONE E.PONENTE EST (CENTRO)

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
LEGGERI	9	11	14	12	46
PESANTI	7	9	11	9	36
MOTO	25	29	28	31	113

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	161
HV	22%
HF	0,90%

VIA E. PONENTE OVEST DIREZIONE ASSE SUD OVEST

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
LEGGERI	40	42	48	51	181
PESANTI	1	1	0	0	2
MOTO	4	2	2	3	11

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	191
HV	1%
HF	0,90%

ASSE S/O DIREZIONE E. PONENTE OVEST (PERIFERIA)

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
LEGGERI	17	19	14	12	62
PESANTI	1	0	0	0	1
MOTO	2	1	0	1	4

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	66
HV	1%
HF	0,84%

ASSE S/O DIREZIONE E. PONENTE EST (CENTRO)

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
LEGGERI	0	0	0	0	0
PESANTI	0	0	0	0	0
MOTO	0	0	0	0	0

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	0
HV	0%

ASSE S/O DIREZIONE PRATI DI CAPRARA

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' -60'	TOTALE
LEGGERI	332	303	287	301	1223
PESANTI	4	3	4	2	13
MOTO	17	10	16	14	57

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	1276
HV	1%
HF	0,91%

VIA E. PONENTE EST DIREZIONE ASSE SUD OVEST

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
LEGGERI	202	212	208	205	827
PESANTI	5	4	3	2	14
MOTO	15	18	19	17	69

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	889
HV	1%
HF	0,99%

VIA E. PONENTE EST DIREZIONE PRATI DI CAPRARA

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
LEGGERI	91	95	92	89	367
PESANTI	3	5	3	2	13
MOTO	8	10	7	5	30

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	401
HV	3%
HF	0,93%

VIA E. PONENTE EST DIREZIONE E. PONENTE OVEST(PERIFERIA)

	0' – 15'	15' -30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
LEGGERI	94	79	85	96	354
PESANTI	12	15	15	14	57
MOTO	31	32	23	22	108

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	486
HV	12%
HF	0,95%

RILEVAMENTI
16/02/2012 pomeriggio (18:30-19:30)

VIA P. DI CAPRARA DIREZIONE E. PONENTE EST (CENTRO)

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
LEGGERI	0	0	0	0	0
PESANTI	0	0	0	0	0
MOTO	0	0	0	0	0

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	0
HV	0%
HF	0%

VIA P. DI CAPRARA DIREZIONE ASSE SUD OVEST

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
LEGGERI	253	230	229	192	904
PESANTI	4	5	2	3	14
MOTO	15	13	17	16	61

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	960
HV	1%
HF	0,90%

VIA P. DI CAPRARA DIREZIONE E. PONENTE OVEST (PERIFERIA)

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
LEGGERI	26	16	19	23	84
PESANTI	1	1	0	0	2
MOTO	6	9	7	7	29

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	124
HV	2%
HF	0,99%

VIA E. PONENTE OVEST DIREZIONE ASSE SUD OVEST

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
LEGGERI	60	77	52	58	247
PESANTI	2	1	1	1	5
MOTO	3	6	6	7	22

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	267
HV	2%
HF	0,82%

VIA E. PONENTE OVEST DIREZIONE PRATI DI CAPRARA

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
LEGGERI	58	64	41	50	213
PESANTI	2	3	2	0	7
MOTO	14	10	9	6	39

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	247
HV	3%
HF	0,83%

VIA E. PONENTE OVEST DIREZIONE E. PONENTE EST (CENTRO)

	0' - 15'	15' - 30'	30' - 45'	45' - 60'	TOTALE
LEGGERI	28	27	25	21	101
PESANTI	7	13	9	8	37
MOTO	27	29	24	21	185

	0' - 60'
VOLUME TOTALE	208
HV	18%
HF	0,96%

ASSE S/O DIREZIONE E. PONENTE OVEST (PERIFERIA)

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
LEGGERI	17	14	18	14	59
PESANTI	0	0	0	0	0
MOTO	5	4	4	2	15

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	70
HV	0%
HF	0,84%

ASSE S/O DIREZIONE E. PONENTE EST (CENTRO)

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
LEGGERI	0	0	0	0	0
PESANTI	0	0	0	0	0
MOTO	0	0	0	0	0

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	0
HV	0%
HF	0%

ASSE S/O DIREZIONE PRATI DI CAPRARA

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' -60'	TOTALE
LEGGERI	206	203	225	200	834
PESANTI	3	2	2	2	9
MOTO	17	10	15	15	57

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	883
HV	1%
HF	0,93%

VIA E. PONENTE EST DIREZIONE ASSE SUD OVEST

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
LEGGERI	251	286	223	290	1050
PESANTI	2	1	2	0	5
MOTO	17	14	8	10	49

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	1089
HV	0%
HF	0,92%

VIA E. PONENTE EST DIREZIONE E. PONENTE OVEST (PERIFERIA)

	0' – 15'	15' -30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
LEGGERI	112	109	101	117	439
PESANTI	12	11	12	9	44
MOTO	34	38	30	34	136

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	578
HV	8%
HF	0,96%

VIA E. PONENTE EST DIREZIONE PRATI DI CAPRARA

	0' – 15'	15' – 30'	30' – 45'	45' – 60'	TOTALE
LEGGERI	76	64	65	60	265
PESANTI	0	0	0	1	5
MOTO	5	4	7	9	25

	0' – 60'
VOLUME TOTALE	288
HV	0%
HF	0,90%

ALLEGATO IV

IL CONCETTO DI LIVELLO DI SERVIZIO

1. CARATTERISTICHE GENERALI DEL FLUSSO STRADALE

Il sistema stradale è un sistema aperto, non protetto, di due gradi di libertà e con marcia a vista, quindi nettamente a traffico casuale. Lo stato circolatorio quindi è costituito da una successione aleatoria di unità di traffico con comportamenti e distanziamenti variabili da istante a istante e da punto a punto della rete.

Inoltre presenta forti disomogeneità relativamente alle componenti del flusso stesso, sia sotto il profilo dimensionale, sia per le prestazioni, anche in relazione alla particolare rete in cui essa è inserita.

Sulla rete autostradale troviamo solo alcune categorie veicolari, quali autovetture, moto superiori ad una certa cilindrata, autoveicoli commerciali; sulla rete extraurbana, le stesse categorie, ed inoltre motocicli, cicli, ecc.; su quelle urbane anche autobus, filobus, e così via.

Nelle aree urbane inoltre riveste notevole rilevanza la presenza della cosiddetta “utenza debole”, costituente il movimento pedonale in corrispondenza di forti attrattori di traffico.

Nelle interazioni flusso – infrastruttura, la composizione del flusso costituisce un primo parametro associabile alle condizioni di funzionamento della rete stradale.

L'incidenza della composizione viene valutata attraverso opportuni coefficienti di omogeneizzazione, rispetto ad un veicolo standard, che è l'autovettura, ottenendosi in tal modo una unità di traffico definibile veicolo equivalente.

D'altra parte anche la rete stessa non è una struttura omogenea, sia per interazioni fra rete e territorio, sia per la geometria e la dimensione dei suoi elementi.

Sotto il profilo delle interazioni con il territorio, si evidenzia la numerosità e la distanza reciproca fra i nodi, nettamente differenziate fra aree extraurbane ed urbane, che inducono diversi andamenti del flusso.

Facendo riferimento ad ambiti territoriali a scala decrescente possiamo quindi considerare tre sottoinsiemi:

- Rete autostradale, a servizio di movimenti, anche a carattere nazionale e di scambio con l'estero, interregionali e regionali;
- Rete stradale extraurbana, a servizio di movimenti a scala regionale e sub-regionale
- Rete stradale metropolitana-urbana, a servizio di movimenti interni, di scambio, e di transito .Quest'ultima ulteriormente disgregabile secondo la classificazione CNR in strade primarie, di scorrimento, di quartiere ed infine locali.

L'ulteriore attributo della rete, geometria e dimensione dei suoi elementi componenti e in qualche modo correlato al precedente, in quanto i rami della rete sono caratterizzati da determinate sezioni trasversali, raggi di curvatura, pendenze, ecc.

Evidentemente, a parità di altre condizioni e in particolare a parità di flusso, al crescere della qualità della strada migliorano le condizioni di flusso.

In definitiva la composizione del flusso, la tipologia della maglia, le caratteristiche geometriche – dimensionali degli elementi componenti le varie categorie di strade, costituiscono gli attributi associabili al funzionamento della rete.

Gli attributi citati, sono analiticamente esprimibili dalle cosiddette funzioni di costo, che mettono in relazione variabili qualitative del flusso, quali tempo di percorrenza o velocità sull'arco, tempo di attesa nel nodo, ecc., con una variabile quantitativa , la portata, in una sezione generica dell'arco o nella sezione di accesso al nodo.

L'esplicitazione delle funzioni di costo richiede, quindi, la valutazione di tali variabili.

Tutta la problematica relativa alla circolazione stradale è stata sviluppata principalmente dall'Highway Capacity Manual (HCM), che basandosi sui modelli derivanti dalla teoria del deflusso, ha proceduto ad una ampia sperimentazione, mediante cui è stato possibile definire delle condizioni standard che forniscono una interpretazione univoca delle condizioni di

funzionamento della rete al variare del carico veicolare, considerando due situazioni limite, di flusso ininterrotto e flusso interrotto.

Ha poi definito la condizione limite di funzionamento sia dei rami che dei nodi ossia il vincolo di capacità; infine ha definito una scansione di classi di funzionamento al disotto di tale limite, ovvero di classe di livelli di servizio, con la quale è possibile avere una attendibile interpretazione delle effettive condizioni operative della rete, da ottime a pessime, corrispondenti al superamento di tale vincolo di capacità e conseguente innesco di situazione congestione.

2. DEFINIZIONI E CONDIZIONI LIMITI

Prima di eseguire la valutazione del Livello di Servizio diamo alcune definizioni sulle grandezze ed i termini utilizzati.

Secondo l'HCM, flusso ininterrotto e flusso interrotto sono termini che si riferiscono alle condizioni della strada, non tanto a quelle del traffico, che peraltro si manifesta con date modalità proprio in relazione a dette condizioni.

- **Flusso ininterrotto** è quello in cui l'andamento (portata, densità, velocità) è influenzato esclusivamente da interazioni fra veicoli appartenenti allo stesso flusso.
- **Flusso interrotto** è quello in cui il flusso viene rallentato o arrestato da cause esterne al flusso stesso, per effetto della presenza di elementi fisici della strada, quali intersezioni, immissioni, strozzature, ecc., che determinano una parzializzazione temporale dell'uso della strada.

E' essenzialmente la presenza di intersezioni che determina la transizione fra flusso ininterrotto e flusso interrotto, ma non in modo univoco per tutte le strade:

in generale se la presenza di un'intersezione lungo un ramo non determina sensibili alterazioni nell'andamento del flusso per gran parte del ramo stesso si può parlare di flusso ininterrotto.

Le condizioni limiti fra flusso ininterrotto e flusso interrotto sono sostanzialmente definite dalla distanza fra le intersezioni:

al diminuire di tale distanza ci si avvicina via-via alle condizioni di flusso interrotto, in quanto è sempre maggiore il tratto di ramo che risente dell'effetto dell'interruzione.

E' intuitivo che nel caso delle autostrade e delle strade extraurbane con poche e rade intersezioni, le condizioni di funzionamento della rete sono espresse dai tempi di percorrenza degli archi, mentre nel caso delle strade urbane le condizioni di funzionamento sono rappresentate dai tempi di nodo.

Con tale concezione l'HCM ha considerato i due casi limiti con riferimento alle seguenti infrastrutture:

- **Flusso ininterrotto** per autostrade e strade extraurbane, a doppia o semplice carreggiata;
- **Flusso interrotto** per urban streets e arterial streets, dove le prime possono essere assimilate alle strade urbane, le seconde alle strade metropolitane – urbane, con specifico riferimento alle intersezioni semaforizzate.

In entrambi i casi l’HCM ha fissato delle condizioni standard, di strada, di traffico e di sistema di segnalamento, con l’ovvia avvertenza che questo terzo aspetto è specificamente riferibile al flusso interrotto, ossia alle intersezioni.

Inoltre, in entrambi i casi, ha provveduto a classificare le diverse condizioni di funzionamento della rete al variare del flusso mediante il livello di servizio, definendo infine un valore limite del flusso sopportabile dall’infrastruttura, cioè la capacità.

La capacità rappresenta il massimo numero di unità di traffico che possono circolare in condizioni limiti immediatamente precedenti il blocco della circolazione.

Lo stato circolatorio prossimo a tale limite viene comunemente indicato come stato di congestione, che prelude, per un qualsiasi motivo perturbatore, all’arresto del flusso di traffico.

3. METODOLOGIA DI STUDIO

La portata su un ramo o in accesso ad un nodo ha un limite, la capacità, in prossimità del quale si manifestano condizioni di congestione con possibile blocco della circolazione.

Le condizioni di circolazione al disotto di tale valore limite possono essere valutate mediante opportune variabili esprimenti il così detto: **livello di servizio (LOS)**.

Il livello di servizio esprime l'insieme delle condizioni operative che si riscontrano sulla rete per il concomitante effetto dei seguenti fattori:

- **Velocità e tempo di percorrenza;**
- **Interruzioni, limitazioni di traffico e conseguenti attese;**
- **Libertà di manovra (sorpasso);**
- **Sicurezza;**
- **Comodità e rispondenza alle esigenze di guida;**
- **Economia.**

L'HCM per le infrastrutture a flusso ininterrotto ha definito sei classi di livello di servizio **A, B, C, D, E, F**, quantificabili con opportune combinazioni delle variabili esplicative del flusso portata, densità, e velocità, cui fare riferimento sia in fase progettuale della infrastruttura, sia in fase di verifica delle condizioni di circolazione.

Per le infrastrutture a flusso interrotto le classi di livello di servizio sono le stesse, **A, B, C, D, E, F**, riconducibili alla variabile tipica delle intersezioni, ossia il perditempo dovuto al superamento del nodo.

Poiché nel nodo convergono almeno tre rami è evidente che verificandosi un ritardo per ciascuno di essi, il ritardo da considerare per il **LOS** è il ritardo medio pesato.

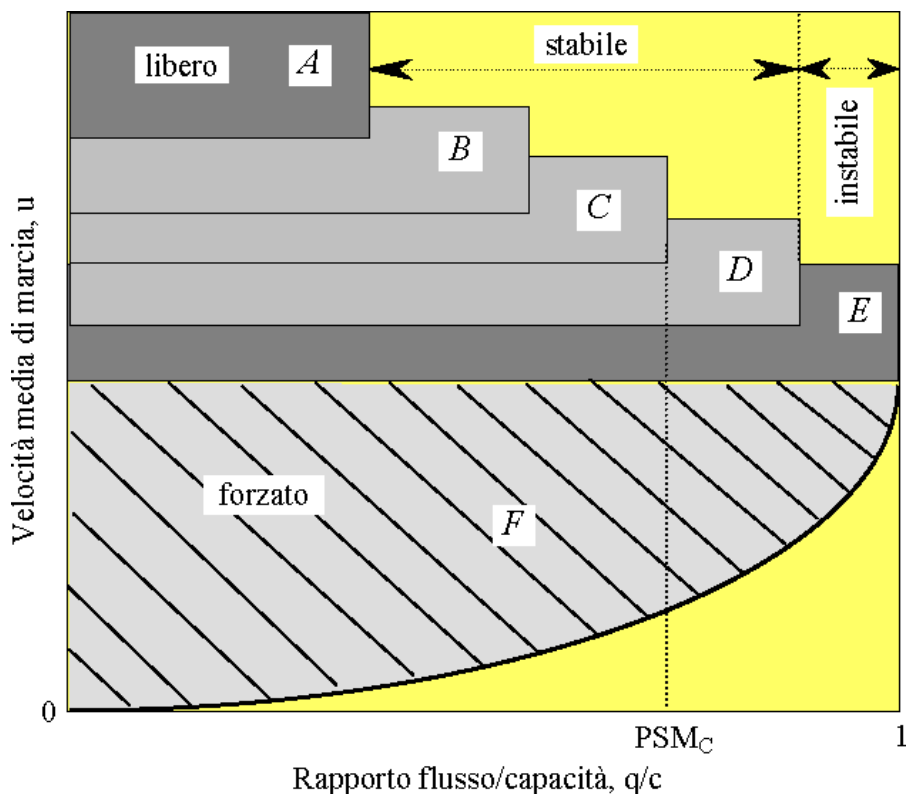
Sia per il flusso interrotto che per il flusso ininterrotto, l'analisi è stata eseguita avendo cura di eseguire la valutazione per le ore di punta che vanno dalle 7:30 alle 8:30 e dalle 18:30 alle 19:30

4. CONDIZIONI DI FLUSSO ININTERROTTO

Per una corretta valutazione dell'efficienza dei rami, i dati più importanti da inserire sono:

- Numero e dimensioni delle corsie con relative pendenze;
- Volume di traffico nelle due direzioni con le rispettive percentuali di veicoli pesanti;
- Velocità di progetto;
- Numero di accessi che si incontrano lungo la percorrenza del ramo.

I livelli sono distinti da sei lettere, da A a F, in ordine decrescente di qualità di circolazione, e vengono delimitati da particolari valori dei parametri velocità, densità o rapporto q/c . La più alta portata oraria di ogni livello o portata di servizio massima (PSM), rappresenta la massima quantità di veicoli che quel livello può ammettere. La portata oraria massima assoluta o capacità della strada (c), coincide con la portata massima del livello E.



I limiti di separazione tra i livelli A e B, D ed E, E ed F segnano, rispettivamente, il passaggio del deflusso da libero a stabile, da stabile ad instabile e da instabile a forzato.

In generale, per strade a flusso ininterrotto, le condizioni di marcia dei veicoli ai vari LdS sono definibili come segue:

- - **A** - gli utenti non subiscono interferenze alla propria marcia, hanno elevate possibilità di scelta delle velocità desiderate (libere); il comfort è notevole.
- - **B** - la più alta densità rispetto a quella del livello A comincia ad essere avvertita dai conducenti che subiscono lievi condizionamenti alle libertà di manovra ed al mantenimento delle velocità desiderate; il comfort è discreto.
- - **C** - le libertà di marcia dei singoli veicoli sono significativamente influenzate dalle mutue interferenze che limitano la scelta delle velocità e le manovre all'interno della corrente; il comfort è definibile modesto.
- - **D** - è caratterizzato da alte densità ma ancora da stabilità di deflusso; velocità e libertà di manovra sono fortemente condizionate; modesti incrementi di domanda possono creare problemi di regolarità di marcia; il comfort è basso.
- - **E** - rappresenta condizioni di deflusso che comprendono, come limite inferiore, la capacità; le velocità medie dei singoli veicoli sono modeste (circa metà di quelle del livello A) e pressoché uniformi; non c'è praticamente possibilità di manovra entro la corrente; il moto è instabile perché piccoli incrementi di domanda o modesti disturbi (rallentamenti, ad esempio) non possono più essere facilmente riassorbiti da decrementi di velocità e si innesca così la congestione; il comfort è bassissimo.
- - **F** - il flusso è forzato: tale condizione si verifica allorché la domanda di traffico supera la capacità di smaltimento della sezione stradale utile (ad es. per temporanei restringimenti dovuti ad incidenti o manutenzioni) per cui si hanno code di lunghezza crescente, bassissime velocità di deflusso, frequenti arresti del moto, in un processo ciclico di stop – and-go caratteristico della marcia in colonna in condizioni di instabilità; non esiste comfort.

5. CONDIZIONI DI FLUSSO INTERROTTO

Per la valutazione del livello di servizio delle intersezioni bisogna distinguere tra intersezioni semaforizzate o meno:

Per le **intersezioni semaforizzate**, il ritardo che l'utente subisce ai nodi di una rete stradale è indice della qualità del servizio.

I Livelli di servizio saranno valutati in base al ritardo medio che il generico utente della strada subisce al nodo considerato.

Il metodo ora esposto nelle sue linee generali, riguarda intersezioni isolate. In realtà, spesso le condizioni di flusso di due o più intersezioni (o meno) consecutive possono essere reciprocamente influenzate. In tale evenienza si può ricorrere a sistemi semaforici coordinati.

Nella tab. 5.1 vengono mostrati gli intervalli che contraddistinguono i diversi livelli di servizio

Tab. 5.1 - Intervalli temporali che contraddistinguono i diversi LOS delle intersezioni semaforizzate

LdS	A	B	C	D	E	F
Ritardo (sec)	<10	>10-20	>20-35	>35-55	>55-80	>80

Per le intersezioni non semaforizzate il livello di servizio dipende dal valore non utilizzato della capacità “ C_r ”, detta riserva di capacità, ed valutabile attraverso l'espressione:

$$C_r = C_{SH} - v$$

dove “ v ” rappresenta il flusso orario complessivo della corsia appartenente alla strada secondaria.

Nella Tabella 5.2 vengono mostrati gli intervalli di variazione di C_r che caratterizzano i diversi livelli di servizio.

Tab. 5.2 - Intervalli temporali che contraddistinguono i diversi LOS delle intersezioni NON semaforizzate.

C_r (veic/h)	LdS	Tempi di attesa nella strada a minor traffico
>400	A	Nessuno o trascurabile
300-399	B	Piccoli ritardi
200-299	C	Medi ritardi
100-199	D	Lunghi ritardi
0-99	E	Ritardi consistenti
*	F	*

Discorso a parte meritano le rotatorie, il livello di servizio di queste ultime può essere calcolato in due modi: intersezioni a raso non semaforizzate con precedenza all'anello, oppure assimilando la rotatoria ad un insieme a "T" non semaforizzate

Nel valutare le condizioni di circolazione, determineremo il livello di servizio, delle intersezione a rotatoria, con entrambi i metodi, dando maggiori chiarimenti sui metodi utilizzati nel prossimo paragrafo.

6. LE INTERSEZIONI A ROTATORIA

La rotatoria è un tipo di intersezione stradale a raso caratterizzata dalla presenza di una carreggiata ad andamento generalmente circolare attorno al quale scorre il traffico a senso unico e nella quale convergono un certo numero di rami di entrata.

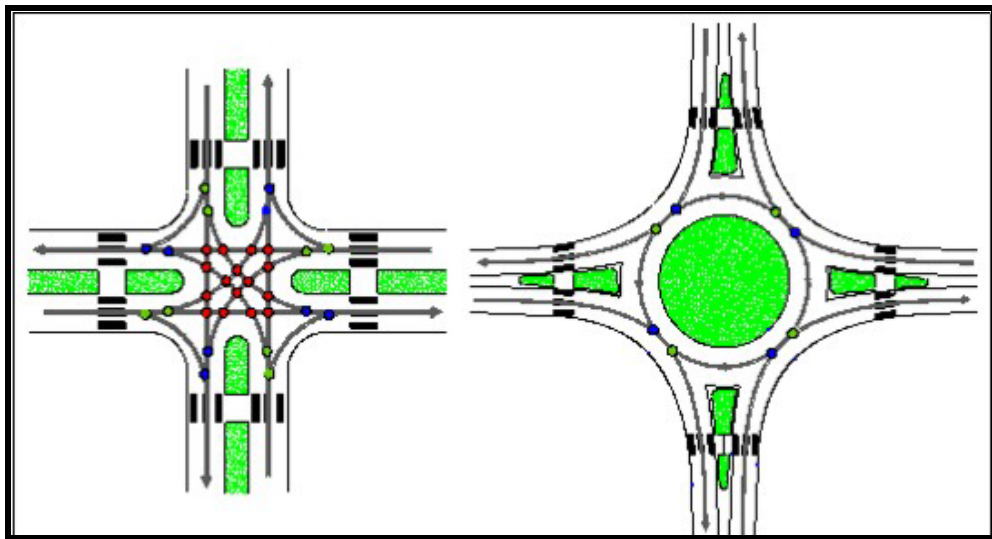
Il funzionamento si basa sulla capacità della corona circolare di smaltire con continuità il flusso veicolare in entrata/uscita dai rami.

Nel corso degli ultimi decenni le rotatorie hanno subito un progressivo cambiamento progettuale tale da differenziare la terminologia tra le rotatorie di vecchia concezione (regola di precedenza a destra e funzionamento con intreccio e scambio lungo le corsie dell' anello) e quelle moderne (precedenza all' anello e dimensioni più ridotte).

Le rotatorie di nuova concezione sono realizzate con un andamento perfettamente circolare di dimensioni contenute, caratterizzate da diametri relativamente più ridotti e da velocità di progetto minori di 50 km/h. Inoltre nelle rotatorie moderne i rami di entrata sono regolati con dare precedenza e i flussi sono canalizzati in corsie specifiche. I principali vantaggi di utilizzo di una rotatoria sono i seguenti:

- Miglioramento delle condizioni di sicurezza nelle intersezioni: grazie alla riduzione dei punti di conflitto, come si nota nella fig. 5.1 ed alle ridotte velocità di transito, i costi dell' incidentalità sono minori per il decremento del numero e della gravità degli incidenti, l' isola separatrice inoltre include una zona di rifugio per i pedoni.
- Miglioramento della pianificazione dello spazio: l' utilizzo di questo tipo di intersezione caratterizza nodi importanti, delimita le strade di forma e funzioni diverse come ad esempio l' ingresso in un centro abitato e consente la valorizzazione del luogo ed interventi architettonici di arredo.

Fig. 5.1



punti di divergenza 8
punti di convergenza 8
punti di intersezione 16

punti di divergenza 4
punti di convergenza 4
punti di intersezione 0

- Diminuzione delle emissioni inquinanti e minore consumi a parità di traffico rispetto alle intersezioni semaforizzate dovuto alle basse velocità di percorrenza al regime quasi continuo di circolazione e ai comportamenti di guida.
- Riduzione dell' inquinamento acustico, dovuto alla maggiore fluidità di movimento dei veicoli nella rotatoria e all' eliminazione delle partenze da fermi dovute ai cicli semaforici.
- Semplificazione delle operazioni di svolta e di tempi di attesa ai rami minori: rispetto ad altri tipi di incroci semaforizzati e non, in particolare il modo in cui si risolvono le manovre di svolta a sinistra, contribuisce alla riduzione complessiva delle attese agli ingressi rispetto ad altri tipi di incrocio.
- Maggiore versatilità alle fluttuazioni del traffico rispetto agli incroci con semafori a tempi fissi che, se dimensionati per le ore di punta, comportano funzionamenti non ottimali durante le altre fasi giornaliere mentre, le rotatorie permettono un'autoregolazione dei flussi sia per le portate di punta che di morbida.

- Moderazione della circolazione in particolare sulle strade di collegamento urbane o su quelle principali, dove il volume di traffico degrada la qualità urbana e le condizioni ambientali; una successione di rotatorie è una efficace misura di moderazione del traffico e di trasferimento del traffico non locale su altri assi viari.
- Economicità della gestione e della manutenzione, rispetto agli incroci semaforizzati che richiedono apparecchiature e software complessi e bisognosi di manutenzione.
- Aumento della disciplina: le rotatorie obbligano ogni utente che impegna l'intersezione a fare attenzione ed a dare la precedenza, escludendo di fatto il caso di presunzione di precedenza in immissione e abituando ad una guida più attenta.
- Possibilità di compiere le inversioni di marcia senza dover compiere pericolose svolte a sinistra o impiegare scorrettamente l'incrocio.
- Semplificazione della segnaletica che risulta di facile comprensibilità.

7. GEOMETRIA DELLA ROTATORIA

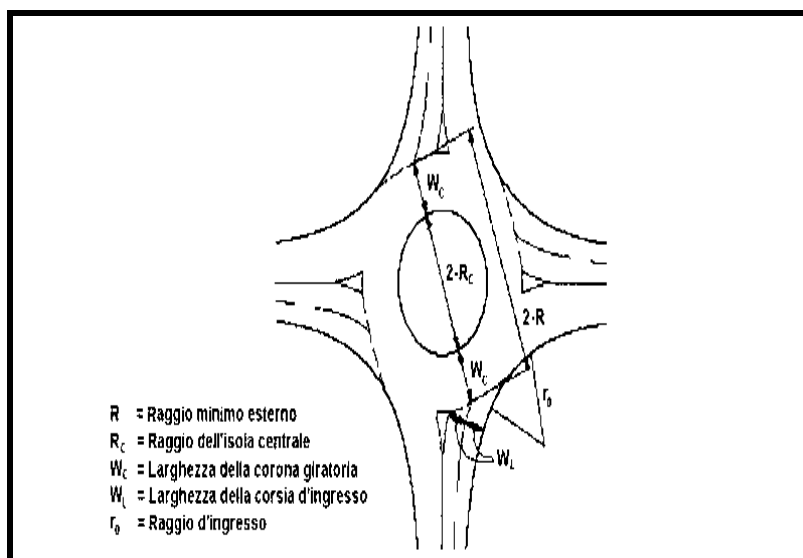
Dall' analisi dei precedenti vantaggi trattati nel paragrafo 2, si può desumere che la costruzione di una rotatoria è raccomandabile nei nodi in cui vi sono un numero non trascurabile di svolte a sinistra e gli attraversamenti delle strade "secondarie" sono molto alte.

La caratterizzazione geometrica della rotatoria-tipo, come si evince dalla fig. 5.2, si basa su 5 elementi essenziali: il raggio minimo esterno (R), il raggio dell' isola centrale (R_c), la larghezza della corona giratoria (W_c), la larghezza della corsia d'ingresso (W_L), il raggio d'ingresso (r_0).

Il raggio esterno è legato al raggio dell' isola centrale e alla larghezza della corona giratoria (W_c) attraverso la seguente relazione:

$$R = R_c + W_c$$

Fig. 5.2



La rotatoria è un tipo di sistemazione delle intersezioni a raso fra più strade, costituita da un anello stradale nel quale confluiscono i bracci di intersezione, il quale viene percorso dal flusso proveniente da ciascun braccio nel tratto compreso fra la sezione d'immissione di quest'ultima e quella del braccio di uscita.

Nei paragrafi successivi preciseremo meglio questi aspetti.

8. ANALISI DELLA CAPACITA'

Dato un ramo della rotatoria possiamo definire i seguenti flussi di traffico:

Q_e = flusso entrante, numero di veicoli che transitano nella sezione d'entrata;

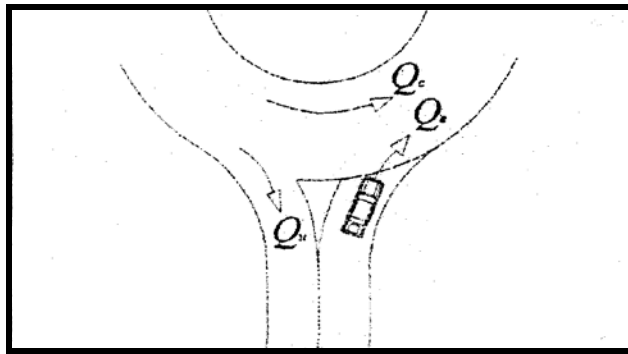
Q_c = flusso circolante, numero di veicoli che transitano nella sezione dell'anello a sinistra dell'entrata;

Q_u = flusso uscente, numero di veicoli che transitano nella sezione di uscita.

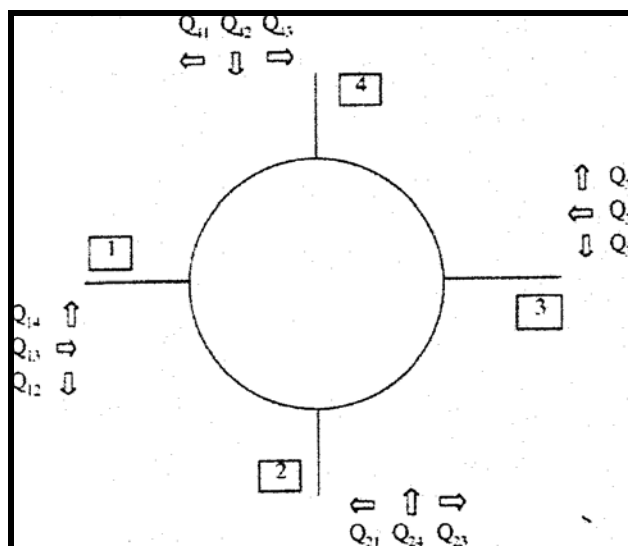
I flussi veicolari verranno espressi in veicoli per ora (veh./h), la notazione minuscola (q_e , q_u e q_c) verrà riferita a valori di flusso espressi in veh./sec.

Abbiamo considerato l'ora di punta del mattino che dai dati rilevati risulta essere la più trafficata.

Fig. 5.3



In rapporto alla fig. 5.3 è possibile trovare la matrice Origine/Destinazione espressa per (veh./h)



In virtù della conservazione dei flussi all' anello, si ricavano i flussi circolanti in prossimità delle entrate di ciascun ramo i-esimo $Q_{c,i}$ e i flussi uscenti da ciascun ramo i-esimo $Q_{u,i}$, tab. 5.3

Nell' analisi del funzionamento delle infrastrutture stradali, per capacità si intende generalmente la massima portata che ha buona probabilità di non essere superata nelle prevalenti condizioni di esercizio.

In particolare faremo riferimento a C_e (capacità portante d' entrata di ogni singolo ramo della rotatoria) come massimo valore del flusso d' entrata che determina la presenza permanente di veicoli in attesa di immettersi.

Tab. 5.3 - Flussi circolanti e uscenti

	Flussi circolanti	Flussi uscenti
Ramo 1	$Q_{c1} = Q_{42} + Q_{43} + Q_{32}$	$Q_{u1} = Q_{21} + Q_{31} + Q_{41}$
Ramo 2	$Q_{c2} = Q_{13} + Q_{14} + Q_{43}$	$Q_{u2} = Q_{12} + Q_{32} + Q_{42}$
Ramo 3	$Q_{c3} = Q_{24} + Q_{21} + Q_{14}$	$Q_{u3} = Q_{13} + Q_{23} + Q_{43}$
Ramo 4	$Q_{c4} = Q_{31} + Q_{32} + Q_{21}$	$Q_{u4} = Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}$

Per il calcolo della capacità useremo il software HCS 2000 che, fa riferimento al metodo teorico per le rotatorie con precedenza all' anello.

Questo metodo si basa sullo studio del comportamento dell' utente e sulla probabilità che una corrente di traffico entrante (corrente secondaria costituita da uno o più veicoli in successione) si immetta negli intervalli temporali presenti in una seconda corrente veicolare, al quale deve dare precedenza (corrente principale).

In particolare, questo metodo teorico di analisi delle intersezioni a raso non regolate da semafori, è derivato dal meccanismo di formazione delle code in cui si considera l' intersezione di due flussi di traffico in un punto di conflitto.

Secondo questa teoria, la capacità d' entrata di una rotatoria è calcolata per ogni ramo come funzione del flusso circolante nell' anello e di due parametri temporali:

- L' intervallo critico (critical gap) t_c : distanziamento temporale tra due veicoli della corrente di traffico circolante, valutato in secondi, che consente l' immissione ideale da parte dei veicoli in entrata. Tutti gli intervalli ad esso inferiori vengono rifiutati dal conducente mentre quelli più grandi sono accettati;
- Il tempo di scalamento di coda (follow up time) t_f : distanziamento temporale medio, valutato in secondi, che intercorre tra la partenza di un veicolo in ingresso ed il successivo veicolo accodato, nel caso in cui entrambi compiono la manovra usufruendo dello stesso varco nella corrente circolante.

Si ipotizzano t_c e t_f costanti e riferiti a due situazioni limite: una inferiore ed una superiore, rispettivamente la prima per condizioni di scarsa abitudine degli utenti al nuovo tipo di regolazione a rotatoria con precedenza nell' anello e la seconda per condizioni di utente esperto, tab. 5.4

Tab. 5.4 - Critical gap secondo l' HCM 2000

LIMITE	SUPERIORE	INFERIORE
Critical gap t_c (sec.)	4,1	4,6
Follow up time t_f (sec.)	2,6	3,1

La formulazione per la capacità della i-esima corsia d' entrata è la seguente:

$$C_e = \frac{3600q_c e^{(-q_c t_c)}}{1 - e^{(-q_c t_f)}} \quad (\text{veh/h})$$

Relazione Flusso /Capacità secondo HCM 2000

BIBLIOGRAFIA

- **PROF. ING. GIANNINO PRAITONI**, Dispense del corso di Teoria e Tecnica della Circolazione, DISTART, Bologna, 2001;

- **PROF. ING. GIANNINO PRAITONI**, *Dispense del corso di Teoria e Tecnica della Circolazione*, Integrazione 2005;

- SITI INTERNET:
CNR - HCM
Comune di Bologna
Enciclopedia libera di Wikipedia