



UNIVERSITA' DI PISA
FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Civile, dell'Ambiente e del Territorio

Tesi di laurea

**STUDIO DELL'INTERSEZIONE TRA LO SVINCOLO
DELL'AUTOSTRADA A12 E IL VIALE GALILEO GALILEI NEL
COMUNE DI CARRARA**

Relatori :

Prof. Ing. Massimo LOSA

Dott. Ing. Pietro LEANDRI

Candidato:

Gabriele IARDELLA

ANNO ACCADEMICO 2008/2009

RINGRAZIAMENTI

“Desidero innanzitutto ringraziare il Professor Ing. Massimo Losa per i preziosi insegnamenti ricevuti durante il corso di studio e per le numerose ore dedicate alla mia tesi. Inoltre, ringrazio sentitamente il Dr. Ing. Pietro Leandri che è stato sempre disponibile a dirimere i miei dubbi durante la stesura di questo lavoro. Intendo poi ringraziare il Comune di Carrara, sottolineando la particolare disponibilità dell'Ing. Giuseppe Marrani e degli Assessori Dr. Giovanni Nannini e Dr. Roberto Dell'Amico per avermi fornito il materiale per la realizzazione della tesi. Inoltre, vorrei esprimere la mia sincera gratitudine ai miei colleghi, in particolare Nicoletta e Francesco per l'aiuto nel rilievo manuale del traffico.

Infine, ho desiderio di ringraziare con affetto i miei familiari per il sostegno ed il grande aiuto che mi hanno dato ed in particolare Alessandra per essermi stata vicino ogni momento durante questi mesi di lavoro.”

INDICE

Ringraziamenti

Introduzione Pag. III

Capitolo I: Le rotatorie Pag. 1

1.1. Storia ed evoluzione delle rotatorie Pag. 1

1.2. Considerazioni generali sulle rotatorie Pag. 3

1.3. Descrizione della misura Pag. 5

1.4. Tipologie Pag. 5

1.5. Lunghezza delle corsie Pag. 7

1.6. Geometria delle rotatorie Pag. 7

**Capitolo II: Stato attuale dell'intersezione oggetto
dello studio** Pag. 9

2.1. Premessa Pag. 9

2.2. Breve presentazione del territorio di Carrara Pag. 12

2.3. Organizzazione attuale dell'intersezione Pag. 15

2.4. Manovre dell'intersezione Pag.18

2.5. Analisi della criticità Pag.19

2.6. Calcolo del Livello di servizio dell'attuale
intersezione. Pag. 21

Capitolo III:	Rilievo ed organizzazione dei dati per la verifica delle condizioni di sicurezza	Pag. 32
3.1.	Circolazione veicolare	Pag. 32
3.2.	Metodi e tecnologie di rilevamento	Pag. 33
3.3.	Rilevamento manuale	Pag. 34
3.4.	Dati rilevati	Pag.36
3.5.	Analisi dei dati di traffico	Pag. 65
3.6.	Previsione dei volumi giornalieri medi per i prossimi 5 anni	Pag. 67
Capitolo IV:	Proposta d'intervento	Pag. 69
4.1.	Dimensionamento della rotatoria	Pag. 69
4.2.	Calcolo della capacità	Pag. 69
4.3.	Lunghezza delle code e tempi di attesa	Pag. 82
4.4.	Verifica delle deflessioni angolari	Pag. 85
4.5.	Verifica delle visibilità	Pag. 87
Conclusioni		Pag. 93
Riferimenti bibliografici		Pag. 95

INTRODUZIONE

La tesi proposta dal candidato è finalizzata all'adeguamento funzionale e della sicurezza di un'intersezione a T non semaforizzata e regolata dalle sole regole di precedenza.

Lo studio della nuova intersezione a rotatoria rientra nel PGTU (Piano Generale Urbano del Traffico) del Comune di Carrara al fine di dare una risposta alle problematiche della mobilità urbana nel breve periodo.

L'intersezione oggetto di studio riguarda la regolarizzazione degli scambi tra la strada di accesso al casello autostradale e Viale Galileo Galilei che, insieme al Viale XX Settembre, Via Covetta e Viale Zaccagna, rappresenta una delle direttrici di traffico principali del Comune.

Questa tesi nasce dall'osservare le esigenze quotidiane di Carrara, città situata nel bacino delle Apuane che risale circa al XI secolo.

Fin dall'epoca romana, la città è stata conosciuta per l'estrazione del marmo e questa attività è cresciuta e si è sviluppata nel corso dei secoli.

Negli ultimi decenni vi è stato un incremento nel traffico urbano dei mezzi pesanti che hanno sostituito la vecchia ferrovia marmifera, appositamente dedicata al trasporto dei marmi dalle cave verso il porto.

Inoltre il piccolo borgo medievale *Cararia* è diventato una vera città, sede di artigianato, industria, commercio e turismo.

Proprio per questi motivi, uno dei bisogni primari dell'Amministrazione Comunale è lo snellimento della circolazione, realizzabile con l'introduzione di intersezioni a rotatoria.

L'obiettivo è quello di ridurre i tempi di percorrenza tra Carrara e Marina di Carrara, aumentando la sicurezza degli utenti stradali e riducendo i costi dei servizi pubblici.

Capitolo 1

LE ROTATORIE

1.1- Storia ed evoluzione delle rotatorie

La storia della moderna rotatoria, ed in particolare della sua evoluzione dagli antichi anelli del traffico, risale alla prima metà del XX secolo.

L'idea del sistema rotante applicata ad un'intersezione stradale fu proposta per la prima volta nel 1903 per Columbus Circle a New York da William Phelps Eno, il “padre del controllo del traffico”.

Eno era un forte difensore di questi modelli, ma gli anelli che egli proponeva avevano spesso piccole isole centrali, a volte costituite da un solo disco di ferro di 1,50 metri o meno di diametro, con luci elettriche o riflettori sistemati a lato.



Figura 1.1 Vista di Columbus Circle (1915 circa)

Nel 1906, Eugene Henard, l'Architetto per la Città di Parigi, propose uno schema di traffico girevole per alcune delle più grandi intersezioni a Parigi.

Nacque un dibattito su chi fosse l'inventore della rotatoria: Henard o Eno?

Sembra che entrambi arrivarono al concetto del movimento del traffico girevole, ma una delle più importanti differenze tra i loro modelli era la grandezza dell'isola centrale della rotonda : Henard sentiva che sarebbe dovuta essere al minimo di 8 metri di diametro, in contrasto con i più piccoli dischi di ferro di Eno che avevano diametri inferiori anche al metro e mezzo.

In Francia, le ampie grandezze degli anelli, il desiderio di mantenere relativamente alte le velocità e la priorità alla destra divennero i più grandi impedimenti per la sicurezza e l'alta capacità.

La rotatoria d'origine nella Piazza di Charles de Gaulle (prima denominata Piazza dell'Etoile, per la sua struttura a stella) divenne il simbolo della congestione del traffico.

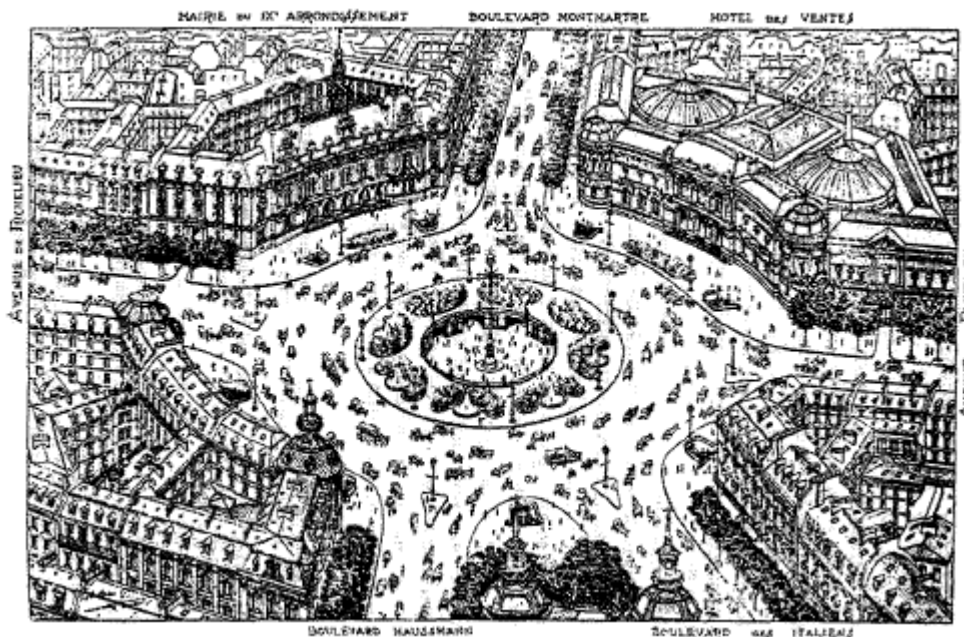


Figura 1.2. Vista dell'intersezione di Grands Boulevards

Il progresso nel disegno delle rotatorie è iniziato presto in Gran Bretagna, dove i sistemi rotevoli esistevano fin dalla metà degli anni '20, risultato parziale del lavoro di Eno.

Inizialmente in Gran Bretagna non vi erano regole di precedenza per le intersezioni incontrollate e sussisteva il problema della congestione.

A tal proposito, alcune municipalità installarono cartelli alle entrate delle rotatorie, chiedendo ai conducenti di dare precedenza ai veicoli circolanti all'interno dell'anello. Test e ricerche del *Road Research Laboratory* hanno trovato che tale regola di precedenza all'anello ha aumentato la capacità del 10% ed ha ridotto le attese del 40% insieme agli incidenti.

Il diritto di precedenza ai veicoli all'interno dell'anello fu ufficialmente adottato per le rotonde in Gran Bretagna nel 1966 e dai primi anni '80 questa regola è stata introdotta anche in Francia.

A seguito dell'emanazione del Nuovo Codice della Strada, in vigore dal 1993, è ora possibile anche in Italia realizzare intersezioni a rotatoria con la regola di precedenza all'interno dell'anello.

Questa regola ha permesso di risolvere il problema dell'*autosaturazione* della circolazione all'interno della rotatoria, che era dovuta alla regola di precedenza a destra.

1.2- Considerazioni generali sulle rotatorie

La sistemazione a rotatoria di una intersezione presenta in genere una serie di aspetti positivi così come altri aspetti di carattere negativo che possono emergere in fase di analisi preliminare e di cui si deve tenere debito conto.

I principali vantaggi che possono conseguirsi con la risoluzione a rotatoria di un incrocio sono:

- a) Facilitazione delle svolte e riduzione globale dei tempi di attesa che sono equilibrati per le diverse correnti non esistendo una gerarchia tra i flussi;
- b) Migliore gestione delle funzionalità di traffico rispetto ad incroci semaforizzati a tempo fisso per i quali il ciclo è progettato per l'ora di punta;
- c) Aumento, in generale, del livello di servizio;
- d) Possibilità di inversione di marcia senza compiere manovre pericolose o illegittime;
- e) Riduzione di inquinamento atmosferico ed acustico.

Esistono, tuttavia, delle controindicazioni all'adozione delle rotatorie nei casi in cui vi sia:

- a) Mancanza assoluta di spazio, o comunque in un contesto eccessivamente costruito che non consente sufficiente visibilità e raggi di curvatura congruenti;
- b) Flussi fortemente squilibrati (in questi casi la regolazione semaforizzata può risultare più funzionale);
- c) Quando non si vuole penalizzare, con notevoli riduzioni di velocità, la corrente principale;
- d) Sequenza di incroci coordinati da semaforizzazione;
- e) In presenza di mezzi pubblici che devono godere del diritto di precedenza: mentre è possibile predisporre corsie riservate sui rami d'accesso, non è possibile attribuire alcuna precedenza al mezzo pubblico all'interno dell'anello.

1.3- Descrizione della misura

In generale, la rotatoria è definita come un tipo di intersezione a raso, costituita da un anello nel quale confluiscono i bracci dell'intersezione; l'anello è percorso dal flusso che proviene da ciascun braccio nel tratto compreso fra la sezione d'immissione di quest'ultimo e quella del braccio di uscita.

Uno dei principali obiettivi dell'intersezione a rotatoria è quello di far rallentare i veicoli in prossimità di quest'ultima, infatti sono i veicoli circolanti nell'anello ad avere la precedenza rispetto a quelli che devono impegnare l'incrocio.

Le rotatorie possono essere adottate nei casi in cui vi siano spazi sufficienti per il loro inserimento ed i flussi di traffico non risultino così elevati da produrre code inaccettabili d'ingresso.

1.4- Tipologie

Seguendo il D.M. 19/04/2006 si possono classificare tre tipologie fondamentali di rotatorie in base al diametro della circonferenza esterna dell'anello:

- *Rotatorie convenzionali*: con diametro esterno compreso tra i 40 e 50 metri;
- *Rotatorie compatte*: con diametro esterno compreso tra i 25 e 40 metri;
- *Minirotatorie*: con diametro esterno compreso tra i 14 e 25 metri.

Per le sistemazioni con "circolazione a rotatoria" che non rientrano in questa classificazione, il dimensionamento e la composizione geometrica

debbono essere definiti con il principio dei tronchi di scambio tra due bracci contigui.

Inoltre, nel caso di minirotatorie con diametro esterno compreso fra i 18 e i 25 metri, l'isola circolare centrale può essere resa in parte transitabile per le manovre dei veicoli pesanti, mentre lo diventa completamente per quelle con diametro compreso fra i 14 e 18 metri.

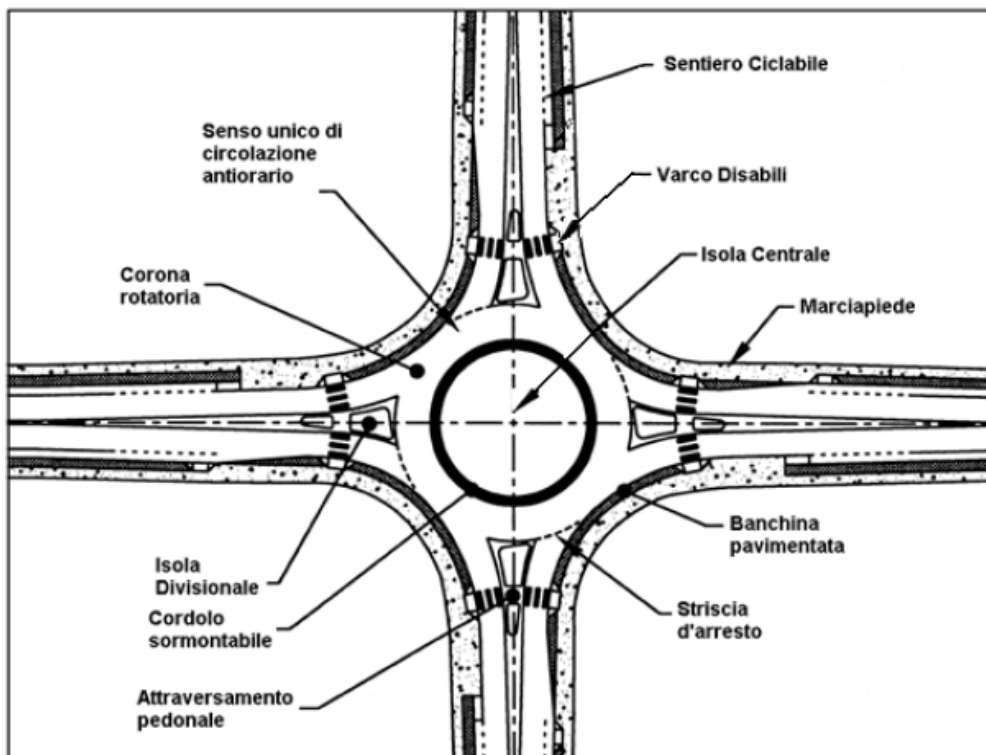


Fig. 1.3. Schema di intersezione a rotatoria dal DM 19/04/2006

1.5- Larghezza delle corsie

Dalla figura 1.3, si definisce la larghezza degli elementi modulari della rotonda, seguendo quanto indicato nella tabella 1.1

Elemento modulare	Diametro esterno della rotonda (m)	Larghezza corsie (m)
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi ad una corsia	≥ 40	6,00
	Compreso tra 25 e 40	7,00
	Compreso tra 14 e 25	7,00 - 8,00
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi a più corsie	≥ 40	9,00
	< 40	8,50 - 9,00
Bracci di ingresso (**)		3,50 per una corsia 6,00 per due corsie
Bracci di uscita (*)	< 25	4,00
	≥ 25	4,50

(*) deve essere organizzata sempre su una sola corsia.

(**) organizzati al massimo con due corsie.

Tab. 1.1. Larghezza delle corsie in funzione del diametro previste dal DM 19/04/2006

1.6- Geometria delle rotatorie

Il criterio fondamentale per definire la geometria delle rotatorie riguarda il controllo della deviazione delle traiettorie in attraversamento del nodo. Infatti, è necessario che i veicoli siano deviati per mezzo dell'isola centrale per impedire l'attraversamento ad una velocità non adeguata.

La valutazione del valore della deviazione viene effettuata per mezzo dell'angolo di deviazione β (vedi figura 1.4). Per determinare la tangente al ciglio dell'isola centrale corrispondente all'angolo di deviazione β , bisogna aggiungere al raggio d'entrata $R_{e,2}$ un incremento b pari a 3,50 metri.

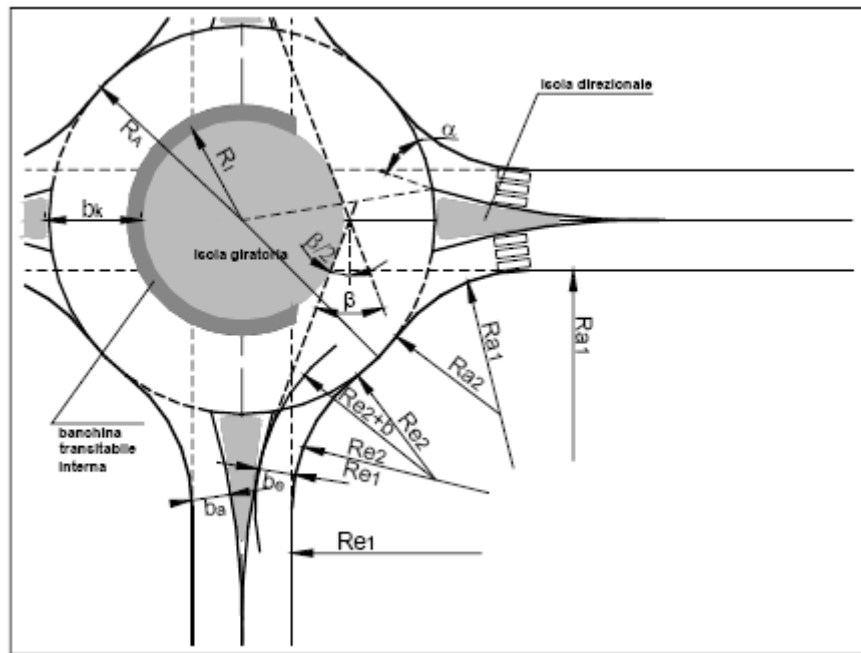


Fig. 1.4. Elementi di progetto e tipizzazione delle rotatorie

Capitolo 2

STATO ATTUALE DELL'INTERSEZIONE OGGETTO DELLO STUDIO

2.1. Premessa

L'oggetto della tesi è relativo alla riqualificazione dell'attuale intersezione tra Viale Galileo Galilei e l'uscita dell'autostrada A12 Sestri Levante-Livorno nel Comune di Carrara al fine di adeguare l'intero sistema viabile comunale alle nuove esigenze di mobilità.

L'Amministrazione Comunale ha infatti definito un quadro esigenziale che vede tra gli obiettivi prioritari:

- 1) la necessità di un progetto che garantisca l'adeguamento delle capacità dell'intersezione alla domanda di trasporto attuale e stimata nel breve e medio periodo in modo da ridurre i fenomeni di coda;
- 2) la necessità di un progetto che permetta la riorganizzazione dell'intersezione migliorandone i livelli di sicurezza per i diversi utenti della strada;
- 3) la necessità di un progetto che consenta una riorganizzazione della disciplina della circolazione e la riduzione delle conflittualità tra i diversi utenti della strada;
- 4) l'individuazione, per il nuovo disegno dell'intersezione, di una geometria che migliori il livello di servizio per tutti gli utenti della strada, mediante interventi finalizzati alla moderazione delle velocità dei veicoli ed alla messa in sicurezza degli attraversamenti ciclo - pedonali;
- 5) l'impiego di materiali coerenti formalmente e funzionalmente con il contesto architettonico e culturale dei luoghi.

Lo Studio di Fattibilità è stato redatto coerentemente con il suddetto quadro esigenziale e si pone l'obiettivo di risolvere le principali situazioni di conflitto attraverso la riqualificazione dei percorsi esistenti. Si riporta di seguito una schema territoriale che consente l'individuazione delle principali direttrici di traffico del territorio comunale (Figura 2.1.).

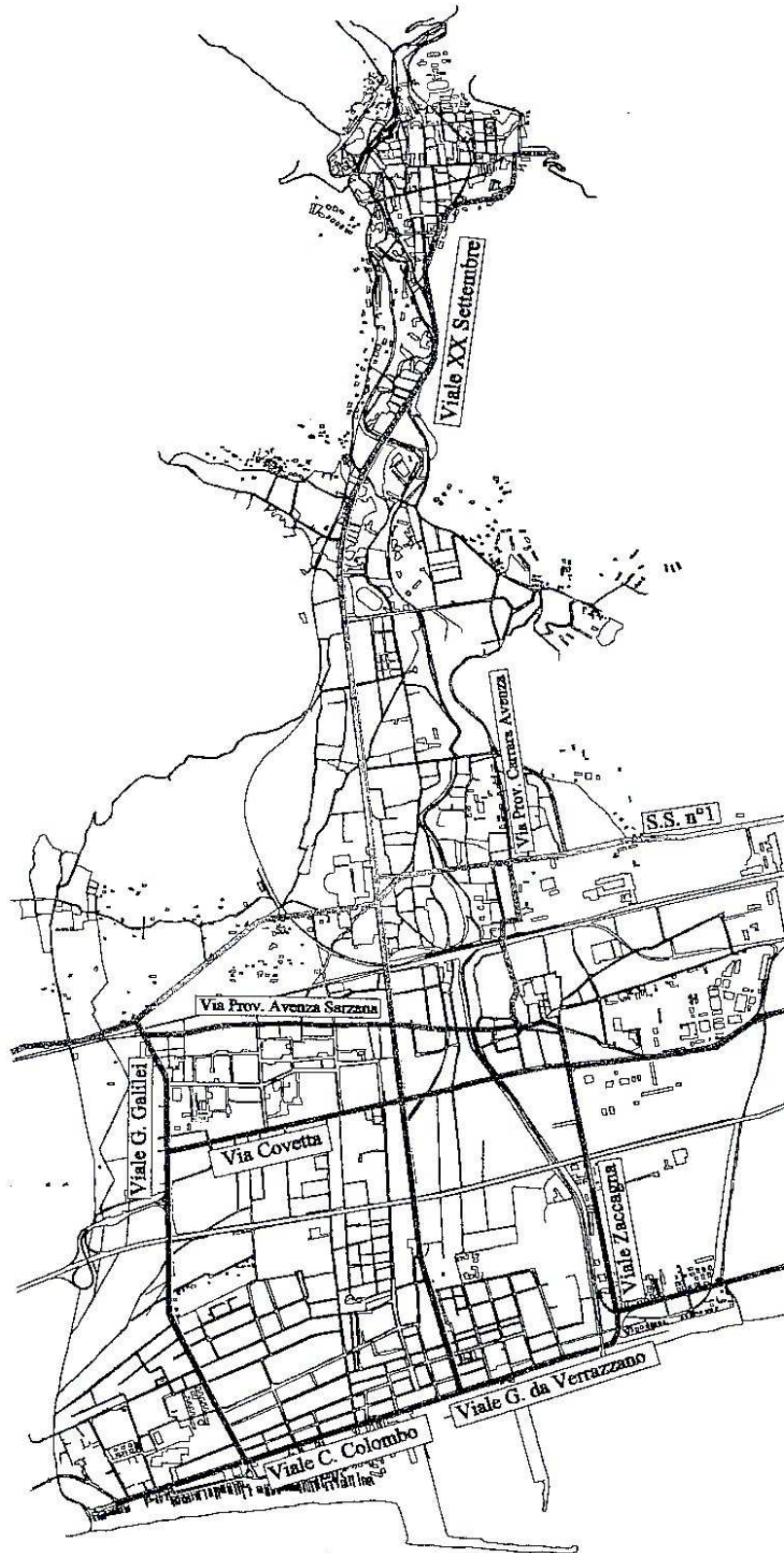


Figura 2.1: direttrici principali di traffico (Fonte PGTU)

2.2. Breve presentazione del territorio di Carrara

Le tracce dei primi insediamenti umani nel territorio attualmente occupato da Carrara risalgono al periodo Neolitico. Il nome della città, derivato dalla radice preromanica “kar” (“pietra”) ne testimonia le antichissime origini; tuttavia la città di Carrara vera e propria sorse in epoca romana quando iniziò lo sfruttamento delle cave marmifere.

Da piccolo villaggio dei pacifici Liguri – Apuani, infatti si trasformò in emporio commerciale della vicina Luni, colonia dei Romani che per primi sfruttarono e valorizzarono i ricchi giacimenti di marmo.

Per la sua posizione strategica, e per la naturale ricchezza economica offerta dal marmo, fu oggetto di continue contese nei secoli successivi.

Nel Medioevo, subì le dominazioni di Bizantini e Longobardi e nel 1235 si eresse a libero Comune assumendo lo stemma della ruota che ancora oggi conserva.

In epoca Signorile, fu Marchesato dei signori di Malaspina, Principato con i Cybo e, infine, Ducato D'Este.

Nelle diverse epoche, lo sviluppo urbano ed economico della città risultò costantemente legato all'attività estrattiva del marmo e alla sua lavorazione.

In età moderna, la città ha conosciuto periodi di floridezza, raggiungendo livelli notevoli di sviluppo culminati tra la fine del XIX secolo e l'inizio del XX grazie ai molti rapporti commerciali legati al traffico dei marmi. A testimonianza di tale situazione, vi fu la costruzione di una ferrovia appositamente dedicata al trasporto dei marmi.



Figura 2.2: La marmifera sui Ponti di Vara a Fantiscritti

Dal punto di vista urbanistico, l'attuale configurazione si riscontra a partire dall'XI secolo al quale risalgono i nuclei delle frazioni a monte e quello di Avenza; il massiccio sviluppo edilizio di quest'ultima, come pure quello di Marina di Carrara, è avvenuto solamente nel secondo dopoguerra.

Oggi, come proposto dagli strumenti urbanistici vigenti, possiamo distinguere tre "sistemi" che compongono il territorio di Carrara:

1. Il sistema territoriale della pianura costiera che, a sua volta, comprende una serie di sub-sistemi distinti (portuale, insediativo costiero, insediativo della pianura e industriale);
2. Il sistema territoriale della collina, anch'esso suddiviso in sub-sistemi;
3. Il sistema territoriale montano, comprendente un sub-sistema dell'alta collina e uno degli insediamenti montani.

L'abitato di Carrara, oltre al centro storico collocato ai piedi delle colline, comprende numerose frazioni, alcune delle quali risultano particolarmente importanti sia per il numero di abitanti sia per il loro peso nell'economia carrarese: i nuclei principali sono Avenza e Marina di Carrara, collocate rispettivamente sulla piana costiera e sul litorale; essi rappresentano, insieme a Carrara Centro, gli insediamenti in cui si concentra la maggior parte della popolazione locale.

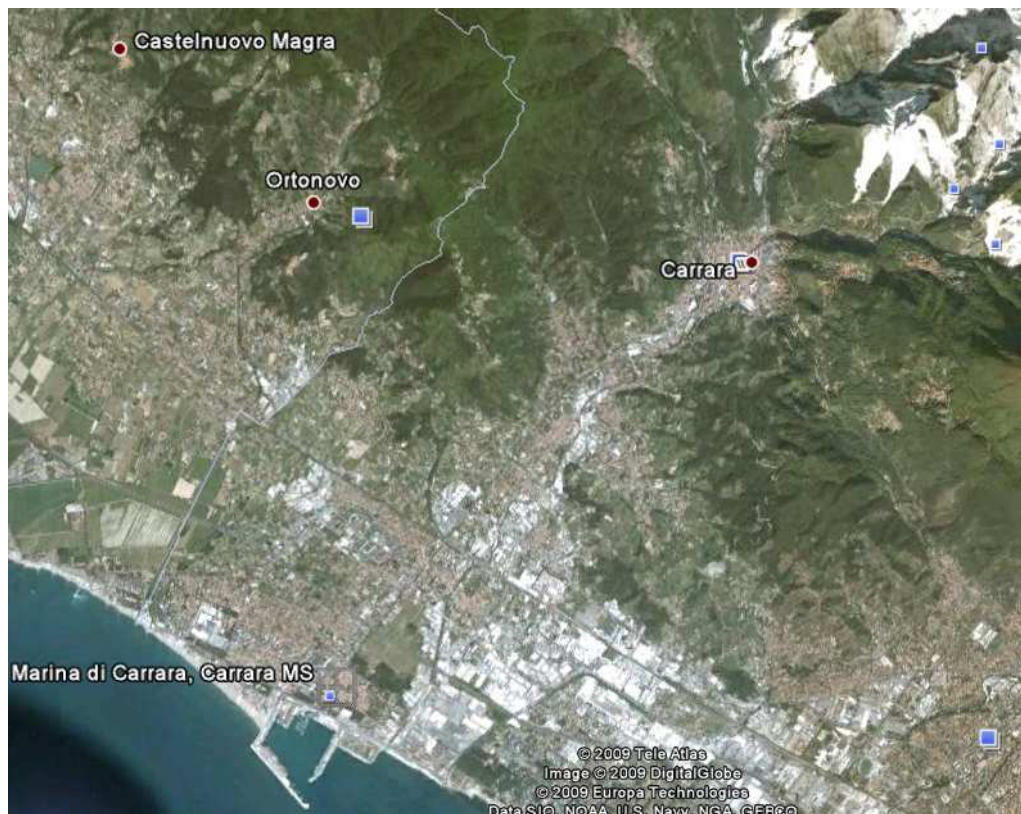


Figura 2.3: Immagine dal satellite del Comune di Carrara

2.3. Organizzazione attuale dell'intersezione

Il Viale Galileo Galilei si configura come una delle direttrici principali di traffico del territorio comunale, collegando il litorale con le più importanti strade presenti sul territorio. Esso, infatti, partendo dal Viale Cristoforo Colombo si sviluppa in direzione Est-Ovest intersecando le maggiori vie cittadine, quali Via Covetta e la Via Provinciale Avenza-Sarzana.

Questo importante asse di scorrimento, inoltre, garantisce il collegamento diretto tra l'ambito urbano e le due principali infrastrutture della rete extraurbana, cioè la Via Aurelia (S.S. n°1) e l'autostrada A12. Attualmente l'intersezione tra Viale Galileo Galilei e l'uscita dal casello autostradale è organizzata come una semplice intersezione a T, regolamentata unicamente per mezzo della segnaletica verticale ed orizzontale.

La strada principale rimane il Viale Galilei, il cui flusso veicolare gode dunque del diritto di precedenza; il flusso proveniente dall'autostrada, raggiunto l'incrocio, può dirigersi verso Marina di Carrara, svoltando a destra, oppure svoltare a sinistra verso i successivi incroci con Via Covetta, Via Provinciale Avenza-Sarzana e, infine, con la Via Aurelia. L'intersezione dispone anche di una corsia di accumulo su Viale Galileo Galilei per i veicoli che provengono da Marina di Carrara e intendono svoltare a sinistra per entrare in autostrada.

E' inoltre presente una via secondaria che si immette direttamente sull'intersezione, lungo la corsia di svolta in Viale Galilei, in direzione Marina di Carrara.

Si riporta di seguito la localizzazione dell'intersezione (Fig. 2.4) e lo stato di fatto descritto in precedenza (Fig. 2.5).



Figura 2.4: localizzazione dell'intersezione

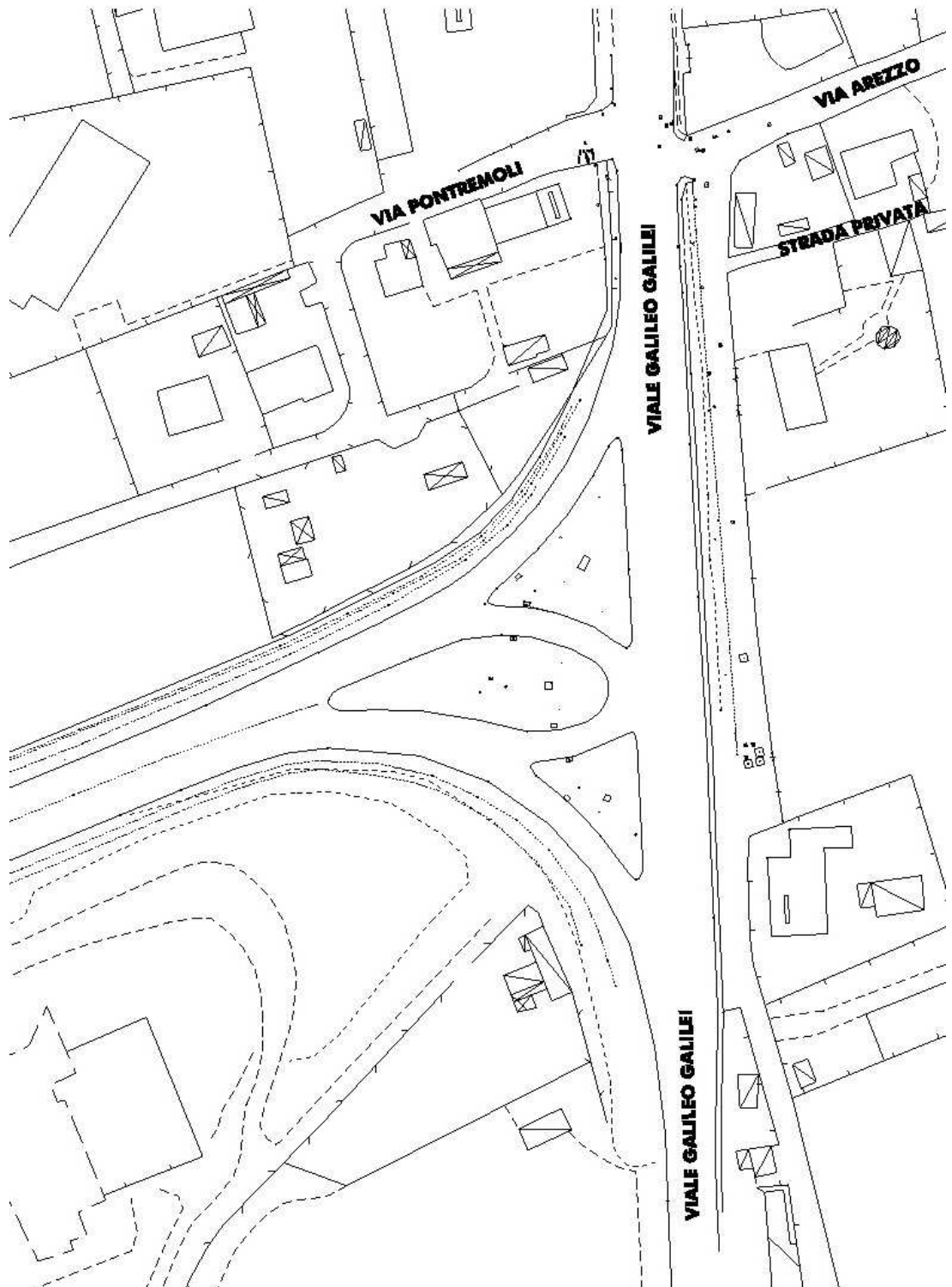


Figura 2.5: stato di fatto

2.4. Manovre dell'intersezione

L'intersezione in esame è schematizzata come in figura 2.6

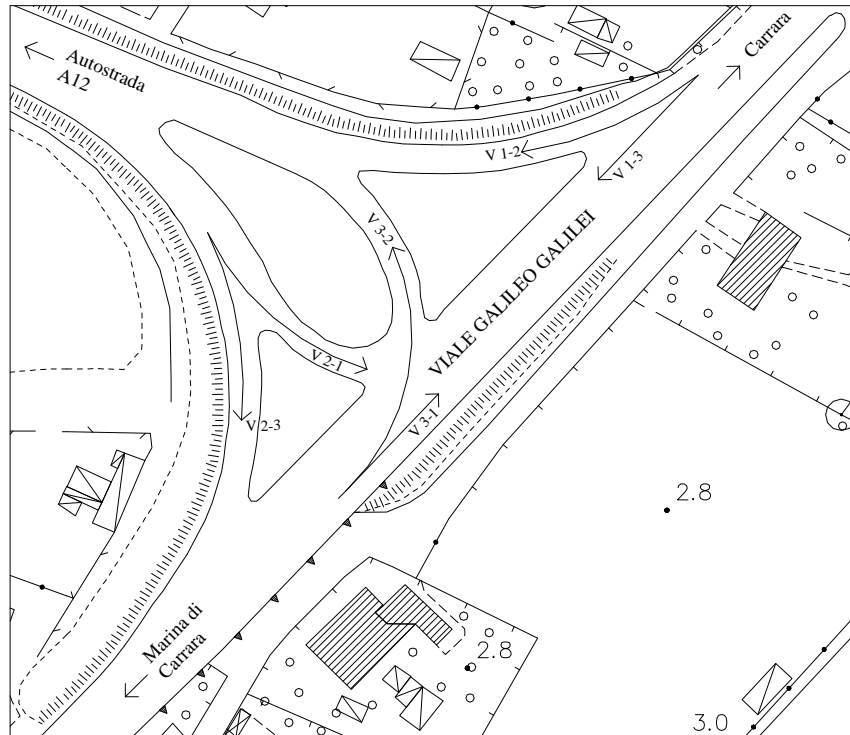


Fig. 2.6: Schema delle manovre nell'intersezione in esame

Dallo schema di figura 2.6 si può notare che sono state indicate con:

V 1-2 (manovra 1-2): La manovra eseguita dai veicoli che percorrono il Viale Galileo Galilei e intendono svoltare a destra per entrare in autostrada;

V 1-3 (manovra 1-3): La manovra eseguita dai veicoli che percorrono il Viale Galileo Galilei e attraversando l'intersezione si dirigono in direzione di Marina di Carrara;

V 2-1 (manovra 2-1): La manovra eseguita dai veicoli in uscita dal casello autostradale che svoltando a sinistra si immettono su Viale Galileo Galilei in direzione di Carrara;

V 2-3 (*manovra 2-3*): La manovra eseguita dai veicoli in uscita dal casello autostradale che svoltando a destra si immettono su Viale Galileo Galilei in direzione di Marina di Carrara;

V 3-1 (*manovra 3-1*): La manovra eseguita dai veicoli che percorrono Viale Galileo Galilei e attraversando l'intersezione si dirigono verso Carrara;

V 3-2 (*manovra 3-2*): La manovra eseguita dai veicoli che percorrono Viale Galileo Galilei e svoltano a sinistra per entrare in autostrada.

2.5- Analisi della criticità

In Italia, un terzo del totale degli incidenti si verificano nell'ambito delle intersezioni stradali; queste sono da sempre punti critici del sistema viario a causa delle diverse interferenze tra le correnti di traffico.

Nella scelta del tipo di intersezione da realizzare bisogna prendere in esame elementi quali: sicurezza, costi di costruzione, manutenzione, impatto ambientale e funzionalità.

In corrispondenza di un'intersezione ogni veicolo compie, in genere, alcune manovre consistenti essenzialmente in variazioni di velocità e di traiettorie che, per la presenza di altri veicoli, non possono essere effettuate liberamente. Si generano, quindi, interferenze tra le correnti di traffico che vanno opportunamente disciplinate per garantire sicurezza e funzionalità nella maggior misura possibile.

Le tre manovre elementari che un veicolo compie in un'intersezione sono:

- *Divergenza*: Il veicolo rallenta lasciando la corrente di cui fa parte per compiere una svolta a destra o a sinistra;

- *Convergenza*: Il veicolo cerca di immettersi in un'altra corrente in transito. Tale manovra comporta un'attesa poiché il veicolo che tende ad immettersi potrà farlo solo quando gli si presenta un intervallo di sufficiente ampiezza tra i veicoli del flusso in transito;
- *Intersecazione*: Il veicolo attraversa una corrente.

Qualunque sia la manovra da compiere per eseguire un determinato percorso, si verificano una o più interferenze fra correnti che rappresentano potenziali punti di collisione tra veicoli e che vengono denominati *punti di conflitto*.

I punti di conflitto relativi alla nostra intersezione sono individuati nella figura 2.7.

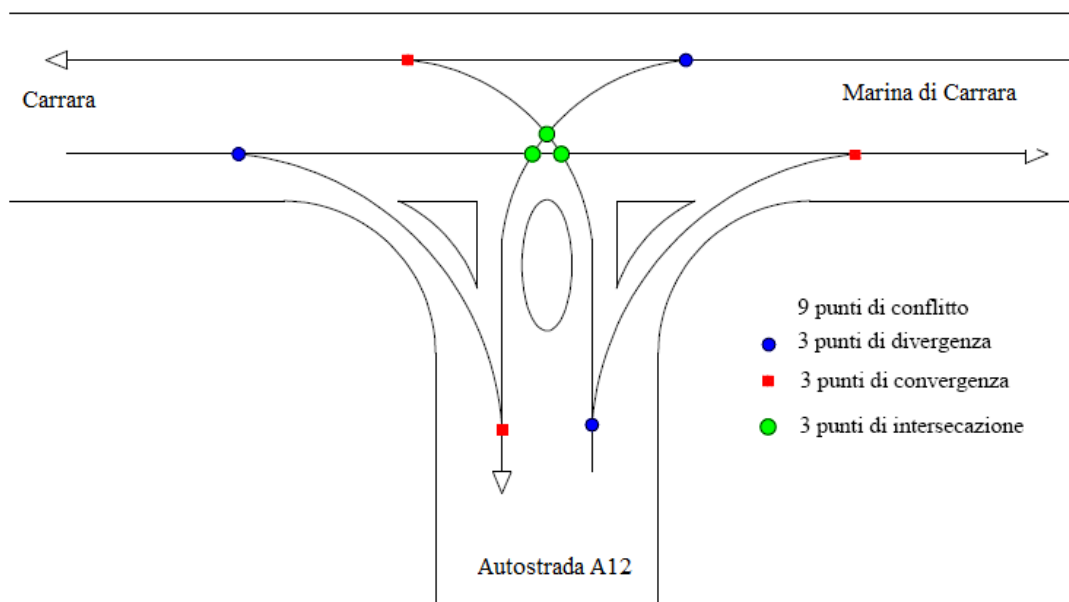


Fig. 2.7: Punti di conflitto nell'intersezione oggetto di studio

2.6. Calcolo del livello di servizio dell'attuale intersezione

La determinazione dei Livelli di Servizio nelle intersezioni a raso non semaforizzate rappresenta un elemento di fondamentale importanza per la valutazione della qualità della circolazione per la verifica funzionale di questo tipo di nodo.

Per valutare la capacità ed i Livelli di Servizio delle intersezioni fra una strada principale ed una secondaria regolate dal segnale di STOP (TWSC), come nel caso dell'attuale intersezione sul Viale Galilei, si utilizzano le procedure illustrate dall'HCM 2000.

La metodologia presuppone condizioni di stazionarietà ed è basata essenzialmente sul modello del "gap acceptance", così come messo a punto da Harders, Siegloch e Brilon in Germania. Attraverso una vasta sperimentazione sono state poi prese in considerazione situazioni tra le più diversificate che possono nella realtà riscontrarsi nella organizzazione delle intersezioni non semaforizzate e che, se considerate contemporaneamente presenti, rendono la procedura lunga e, per certi versi, macchinosa.

I dati di ingresso necessari riguardano la geometria dell'intersezione, i volumi di traffico relativi a ciascun movimento ed i tempi psicotecnici che caratterizzano il comportamento degli utenti all'intersezione (intervallo e distanziamento critico).

Nella figura 2.8 è riportata la schematizzazione convenzionale dei movimenti per l'incrocio in esame, vengono numerati da 2 a 4 i movimenti della strada principale e con 7 e 9 quelli della strada secondaria.

La procedura di base impone che ogni movimento abbia a disposizione una corsia, apportando poi le opportune correzioni quando due o più movimenti si avvalgono di una sola corsia.

La geometria dell'incrocio è caratterizzata quindi dal numero di corsie per ogni braccio, dai movimenti che ciascuna corsia serve e dalla pendenza del braccio, mentre non sono considerate le larghezze delle corsie ed i raggi di svolta.

Per quanto riguarda i dati di traffico, è richiesto, per ciascun movimento, la portata di punta relativa a 15 minuti (espressa in equivalente orario) ottenuta dividendo il volume di progetto per il fattore dell'ora di punta.

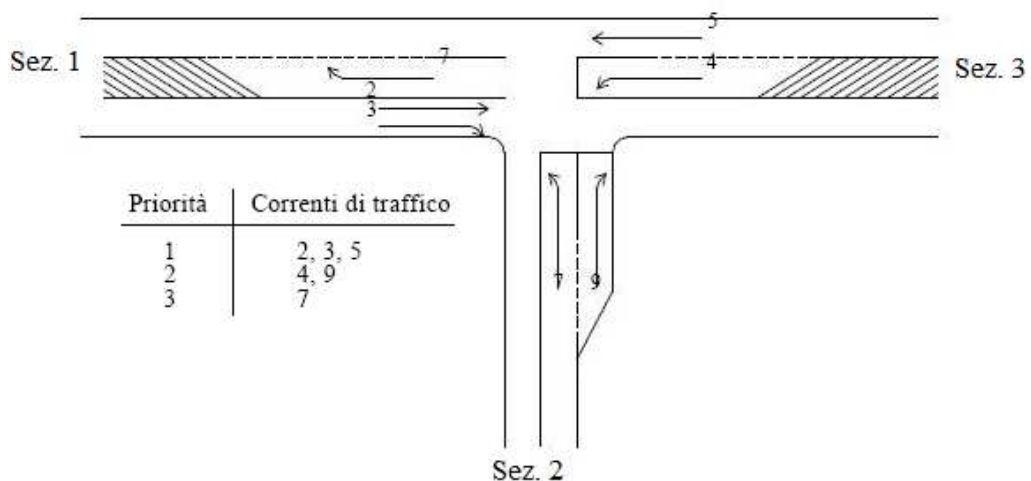


Fig. 2.8 : Schematizzazione convenzionale dei movimenti nell'attuale intersezione

La metodologia è fondata su una precisa gerarchia delle correnti di traffico come indicato in figura 2.8 e come di seguito specificate:

- *Priorità 1* : Correnti dirette della strada principale;
- *Priorità 2* : Svolta a sinistra dalla strada principale alla secondaria e svolta a destra dalla secondaria alla principale;

- *Priorità 3*: Svolta a sinistra dalla strada secondaria verso la principale.

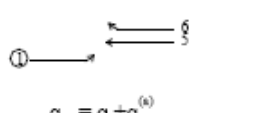
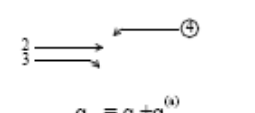
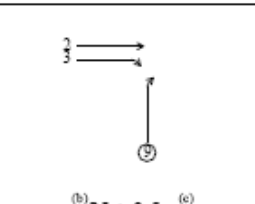
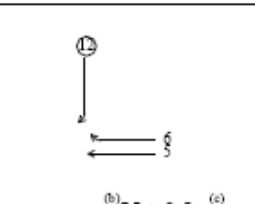
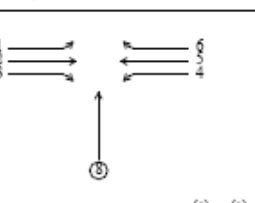
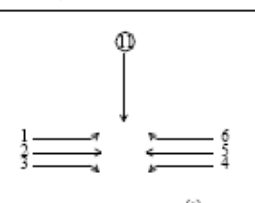
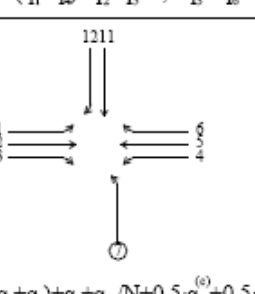
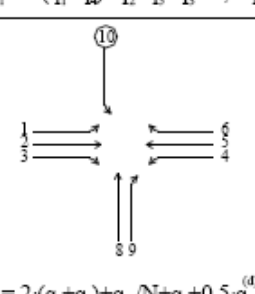
Con esclusione delle correnti con priorità 1, le altre devono dare una o più precedenza: per un dato movimento, la somma opportunamente ponderata delle portate cui va data la precedenza viene denominata *portata di conflitto*.

Nella Figura 2.9 è indicata la determinazione delle portate di conflitto (fittizie convenzionali) dei singoli movimenti con relazioni derivanti da osservazioni sperimentali.

Per quanto attiene ora agli altri dati di ingresso - intervalli critici T_c e distanziamenti critici di follow-up time T_f - sulla scorta di un'ampia ricerca sperimentale condotta negli USA, nel Manuale vengono indicati i valori base di T_c e T_f per ogni tipo di manovra con riferimento alle autovetture ed i coefficienti correttivi per tener conto dei veicoli pesanti, della pendenza longitudinale e del tipo di incrocio. I valori base sono riportati nella Tabella 2.1.

Tipo di movimento	Intervallo critico base T_{cb} (sec)		Intervallo di accodamento base T_b (sec)
	Strada principale a due corsie	Strada principale a quattro corsie	
Svolta a sinistra dalla strada principale	4,1	4,1	2,2
Svolta a destra dalla strada secondaria	6,2	6,9	3,3
Traffico diretto della strada secondaria	6,5	6,5	4,0
Svolta a sinistra dalla strada secondaria	7,1	7,5	3,5

Tab. 2.1 : Intervalli critici e di accodamento per le diverse manovre

Movimenti	Portate di conflitto	
1 e 4 Svolta a sx dalla strada principale	 $q_{e,1} = q_5 + q_6^{(a)}$	 $q_{e,4} = q_2 + q_3^{(a)}$
9 e 12 Svolta a dx dalla strada secondaria	 $q_{e,9} = q_2 / N + 0,5 \cdot q_3^{(c)}$	 $q_{e,12} = q_1 / N + 0,5 \cdot q_6^{(c)}$
8 e 11 Correnti dirette dalla strada secondaria	 $q_{e,8} = 2 \cdot (q_1 + q_4) + q_2 + q_5 + 0,5 \cdot q_3^{(e)} + q_6^{(a)}$	 $q_{e,11} = 2 \cdot (q_1 + q_4) + q_2 + q_5 + q_3^{(a)} + 0,5 \cdot q_6^{(e)}$
7 e 10 Svolta a sx dalla strada secondaria	 $q_{e,7} = 2 \cdot (q_1 + q_4) + q_2 + q_5 / N + 0,5 \cdot q_3^{(e)} + 0,5 \cdot q_6^{(d)} + 0,5 \cdot q_{11} + 0,5 \cdot q_{12}^{(e,f)}$	 $q_{e,10} = 2 \cdot (q_1 + q_4) + q_2 / N + q_5 + 0,5 \cdot q_3^{(d)} + 0,5 \cdot q_6^{(c)} + 0,5 \cdot q_8 + 0,5 \cdot q_9^{(e,f)}$

- (a) Se la corrente in svolta dalla strada principale è separata da un'isola triangolare, q_6 e q_3 non vanno considerati.
- (b) N è il numero di corsie della strada principale destinato ai movimenti 2 e 5.
- (c) Se vi è una corsia per la svolta a destra sulla strada principale, q_3 e q_6 non si considerano.
- (d) Se la strada principale è a più corsie, non considerare q_6 e q_3 .
- (e) Se il traffico in svolta dalla strada secondaria è separato con un'isola triangolare, non considerare q_9 e q_{12} .
- (f) Non considerare q_{12} e q_9 per strade a più corsie.

Fig. 2.9 : Determinazione delle portate di conflitto

Dall'analisi del traffico (riportata dettagliatamente nel capitolo 3) abbiamo determinato la matrice Origine – Destinazione (O/D) dove

vengono riportate le portate orarie di progetto per le quali si è già tenuto conto del fattore dell'ora di punta.

Ora di massimo traffico:				
O/D	Sez.1	Sez.2	Sez.3	Totale
Sez.1	----	Q ₃ = 359	Q ₂ = 650	1009
Sez.2	Q ₇ = 320	----	Q ₉ = 276	596
Sez.3	Q ₅ = 776	Q ₄ = 216	----	992
Totale	1096	575	926	2597

Tab 2.2. Matrice Origine Destinazione (O/D)

Per prima cosa si effettua il calcolo degli intervalli critici e degli intervalli di sequenza sfruttando le seguenti relazioni:

$$T_{cx} = T_{cb} + t_{cHV} \cdot P_{HV} + t_{cG} \cdot G - t_{3,LT}$$

in cui:

- t_{cHV} = coefficiente correttivo per veicoli pesanti (sec) pari a 1 per strada principale a due corsie e pari a 2 per strada principale a 4 corsie;
- P_{HV} = Percentuale del traffico pesante nella corrente secondaria;
- t_{cG} = Coefficiente correttivo per la pendenza (sec) pari a 0,1 per il movimento 9 e 0,2 per il movimento 7;
- G = Pendenza espressa in percento;
- $t_{3,LT}$ = 0,7 per il movimento di svolta a sinistra dalla strada secondaria negli incroci a T;
- T_{cb} = Intervallo critico base riportato nella tabella 2.1.

$$T_{fx} = T_{fb} + t_{fHV} \cdot P_{HV}$$

in cui:

- T_{fb} = Intervallo di sequenza base riportato nella tabella 2.1;

- t_{fHV} = Coefficiente correttivo per veicoli pesanti (sec) pari a 0,9 per strade principali a due corsie, mentre è pari a 1 per strade a quattro corsie.

Con le espressioni sopra riportate si calcolano i vari intervalli per le manovre che devono dare precedenza alla corrente principale:

Manovra 4: (svolta a sinistra dalla strada principale)

$$T_{c,4} = 4,1 + 1 \cdot 0,10 = 4,2 \text{ sec}$$

$$T_{f,4} = 2,2 + 0,9 \cdot 0,10 = 2,29 \text{ sec}$$

Manovra 7: (svolta a sinistra dalla strada secondaria)

$$T_{c,7} = 7,1 + 1 \cdot 0,10 - 0,7 = 6,5 \text{ sec}$$

$$T_{f,7} = 3,5 + 0,9 \cdot 0,10 = 3,59 \text{ sec}$$

Manovra 9: (svolta a sinistra dalla strada secondaria)

$$T_{c,9} = 6,2 + 1 \cdot 0,10 = 6,3 \text{ sec}$$

$$T_{f,9} = 3,3 + 0,9 \cdot 0,10 = 3,39 \text{ sec}$$

Una volta determinati gli intervalli critici e di sequenza si determinano le portate di conflitto con le formule previste dallo schema di figura 2.9.

$$q_{c,4} = q_2 = 650 \text{ veic/h}$$

$$q_{c,7} = 2 \cdot q_4 + q_2 = 1082 \text{ veic/h}$$

$$q_{c,9} = q_2 = 650 \text{ veic/h}$$

Per *Capacità potenziale* di un movimento di priorità diversa da 1 si intende la portata oraria che riesce ad essere smaltita, tenuto conto della portata di conflitto.

Viene calcolata con la relazione:

$$C_{p,x} = q_{c,x} \cdot \frac{e^{\frac{-q_{c,x} \cdot T_{c,x}}{3600}}}{1 - e^{\frac{-q_{c,x} \cdot T_{f,x}}{3600}}}$$

con:

- $C_{p,x}$ = Capacità potenziale del movimento x (veic/h);
- $q_{c,x}$ = Portata di conflitto (veic/h).

Dalla relazione sopra riportata otteniamo:

$$C_{p,4} = 650 \cdot \frac{e^{\frac{-650 \cdot 4,2}{3600}}}{1 - e^{\frac{-650 \cdot 2,29}{3600}}} = 899 \text{ veic/h}$$

$$C_{p,7} = 1082 \cdot \frac{e^{\frac{-1082 \cdot 6,5}{3600}}}{1 - e^{\frac{-1082 \cdot 3,59}{3600}}} = 233 \text{ veic/h}$$

$$C_{p,9} = 650 \cdot \frac{e^{\frac{-669 \cdot 6,3}{3600}}}{1 - e^{\frac{-669 \cdot 3,39}{3600}}} = 455 \text{ veic/h}$$

Come detto in precedenza, le manovre ad un incrocio regolato da STOP sulla strada secondaria vengono suddivisi in 3 tipi con differenti gradi di priorità (la suddivisione è in quattro tipi per intersezioni a quattro bracci). Le correnti a priorità 1 non si arrestano e, quindi, non subiscono alcun ritardo dovuto al controllo.

I movimenti con priorità 2 (svolta a sinistra dalla strada principale e svolta a destra dalla strada secondaria), devono dare precedenza solo alle correnti con priorità 1, per cui la *Capacità Effettiva* c_e di questi movimenti è pari alla capacità potenziale, quindi:

$$c_{e,4} = c_{p,4} = 899 \text{ veic/h}$$

$$c_{e,9} = c_{p,9} = 455 \text{ veic/h}$$

La manovra 7, avendo priorità 3, deve dare precedenza alle correnti con priorità 1 e 2: ciò vuol dire che se vi sono in attesa veicoli con priorità 2, quelli con priorità 3 non possono utilizzare gli intervalli favorevoli nella corrente con priorità 1. Conseguenza di questa circostanza, che nel manuale è chiamata *impedenza*, è una riduzione di capacità del movimento a priorità 3; questa riduzione è tanto minore quanto più elevata è la probabilità di non avere veicoli a priorità 2 in attesa di compiere la loro manovra.

La manovra 7 deve dare la precedenza al movimento 4, quindi occorre calcolare la probabilità che non vi siano veicoli del rango 4 in attesa di svoltare, tale probabilità si ricava:

$$p_{0.4} = 1 - \frac{q_4}{c_{e,4}} = 1 - \frac{216}{899} = 0,76$$

Quindi per effetto dell'impedenza, la capacità effettiva del movimento 7 diviene :

$$c_{e,7} = 0,76 \cdot 233 = 177 \text{ veic/h}$$

L'unica corsia condivisa è quella per i movimenti 2 e 3 che, essendo a priorità 1, non viene considerata.

Per determinare il livello di servizio dell'intersezione bisogna procedere al calcolo dei *ritardi medi*. Per ritardo si intende il perditempo per la decelerazione all'arrivo, l'accelerazione in partenza, il tempo trascorso eventualmente in coda e quello come capofila allo STOP in attesa di eseguire la manovra (quest'ultimo viene denominato *tempo di servizio*).

Per il calcolo del ritardo medio "d" viene utilizzata la formula suggerita dall'HCM 2000:

$$d_x = \frac{3600}{c_{e,x}} + 900 \cdot T \cdot \left[\frac{q_x}{c_{e,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{q_x}{c_{e,x}} - 1\right)^2 + \frac{3600 \cdot q_x}{c_{e,x} \cdot c_{e,x} \cdot 450 \cdot T}} \right] + 5$$

in cui :

- d_x = ritardo medio per la manovra x (sec/veic);
- q_x = portata (o tasso di flusso) per il movimento x (veic/h);
- $c_{e,x}$ = Capacità effettiva per il movimento x (veic/h);
- T = Periodo di analisi in ore ($T = 0,25$ per periodi di 15');

$$d_4 = \frac{3600}{899} + 900 \cdot 0,25 \cdot \left[\frac{216}{899} - 1 + \sqrt{\left(\frac{216}{899} - 1\right)^2 + \frac{3600 \cdot 216}{899 \cdot 899 \cdot 450 \cdot 0,25}} \right] + 5$$

$$d_4 = 10,26 \text{sec/veic}$$

$$d_7 = \frac{3600}{177} + 900 \cdot 0,25 \cdot \left[\frac{320}{177} - 1 + \sqrt{\left(\frac{320}{177} - 1\right)^2 + \frac{3600 \cdot 320}{450 \cdot 0,25}} \right] + 5$$

$$d_7 = 429 \text{ sec/veic}$$

$$d_9 = \frac{3600}{455} + 900 \cdot 0,25 \cdot \left[\frac{276}{455} - 1 + \sqrt{\left(\frac{276}{455} - 1\right)^2 + \frac{3600 \cdot 276}{450 \cdot 0,25}} \right] + 5$$

$$d_9 = 24,4 \text{ sec/veic}$$

Una volta determinato il ritardo medio, la procedura HCM individua in una tabella il Livello di Servizio:

Livello di Servizio	Ritardo di controllo medio (sec/veic)
A	0-10
B	>10-15
C	>15-25
D	>25-35
E	>35-50
F	>50

Tab. 2.3: Criterio per individuare il Livello di Servizio per intersezioni a raso regolate con STOP

Dalla tabella 2.3 possiamo dire che:

- Manovra 4 = Lds B
- Manovra 7 = Lds F
- Manovra 9 = Lds C

Il ritardo complessivo per l'intera intersezione è:

$$d_T = \frac{\sum d_x \cdot q_x}{\sum q_x} = 416 \text{ sec/veic}$$

Il Lds dell'intersezione e F

Si valuta adesso il valore medio ed il 95° percentile della lunghezza delle code utilizzando le formule proposte dall'HCM 2000 sempre relative al periodo di un quarto d'ora:

$$Q_{95} = 900 \cdot T \cdot \left[\frac{q_x}{c_{e,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{q_x}{c_{e,x}} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot q_x}{c_{e,x} \cdot 150 \cdot T}} \right] + \left(\frac{c_{e,x}}{3600} \right)$$

$$Q_{95,4} = 900 \cdot 0,25 \cdot \left[\frac{216}{899} - 1 + \sqrt{\left(\frac{216}{899} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot 216}{899 \cdot 150 \cdot 0,25}} \right] + \left(\frac{899}{3600} \right) = 0,94 \text{ veic}$$

$$Q_{95,7} = 900 \cdot 0,25 \cdot \left[\frac{320}{177} - 1 + \sqrt{\left(\frac{320}{177} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot 320}{177 \cdot 150 \cdot 0,25}} \right] + \left(\frac{177}{3600} \right) = 20 \text{ veic}$$

$$Q_{95,9} = 900 \cdot 0,25 \cdot \left[\frac{276}{455} - 1 + \sqrt{\left(\frac{276}{455} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot 276}{455 \cdot 150 \cdot 0,25}} \right] + \left(\frac{455}{3600} \right) = 3,94 \text{ veic}$$

Capitolo 3

RILIEVO ED ORGANIZZAZIONE DEI DATI PER LA VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI SICUREZZA

3.1- Circolazione veicolare

Il fenomeno circolatorio veicolare viene analizzato per due diverse e separate situazioni di flusso veicolare, denominate *flusso interrotto* e *flusso ininterrotto*.

Il primo si instaura quando i veicoli che percorrono un certo tratto di una corsia o di una strada subiscono un disturbo che costringe la corrente veicolare ad arrestarsi per motivi esterni alla corrente di traffico, quali la presenza di un semaforo, segnali o altro.

Il secondo si ha quando i veicoli che percorrono un certo tratto di una corsia o di una strada non subiscono disturbo per cause esterne alla corrente di traffico. In questo caso, il flusso può subire arresti o rallentamenti per cause interne alla corrente veicolare come ad esempio un incidente.

Per studiare una corrente veicolare e il suo deflusso, dobbiamo analizzare alcune variabili di base quali:

- *Volume o volume di traffico*: rappresenta il numero di veicoli che attraversa o si prevede attraverserà una certa sezione stradale in un intervallo di tempo prefissato.
- *Portata o portata veicolare*: rappresenta il numero di veicoli che attraversa o si prevede attraverserà una certa sezione stradale in un intervallo di tempo prefissato inferiore all'ora che è in genere 15 minuti.

- *Capacità*: rappresenta la massima portata relativa ad un dato periodo di tempo (in genere 15 minuti) che ha sufficiente probabilità di non essere superata.
- *Portata di punta*: deriva dai 15 minuti più carichi all'interno dell'ora. Questa portata è detta anche *intensità di traffico*.
- *Fattore dell'ora di punta (phf)*: è definito come il rapporto tra il volume orario e quattro volte il volume osservato durante i 15 minuti più carichi (portata di progetto).
- *Traffico giornaliero medio (TGM)*: rappresenta il rapporto tra il numero di veicoli transitanti in un anno ed il numero di giorni dello stesso.

3.2- Metodi e tecnologie di rilevamento

Le metodologie di rilevamento si distinguono fondamentalmente in metodi di rilevamento manuale, che richiedono la presenza continua di un operatore umano, e metodi di rilevamento automatico quando si ha la necessità di raccogliere con continuità e accuratezza i dati di traffico su lunghi periodi, diurni e notturni. Un sistema automatico di misura dei parametri del traffico è costituito da quattro componenti: un rilevatore, un interprete, un registratore ed un elaboratore.

Nel nostro caso è stato utilizzato il rilevamento manuale per le singole direzioni.

3.3- Rilevamento manuale

Questo tipo di rilievo viene eseguito da un operatore umano che, grazie alle sue capacità, riesce ad effettuare il conteggio dei veicoli riconoscendo il tipo, valutando le manovre dei singoli veicoli ed il comportamento del guidatore.

Tuttavia l'osservatore umano presenta dei limiti naturali che possono non garantire la correttezza e l'esattezza delle informazioni rilevate a causa della non istantanea velocità di registrazione dei dati e dall'affaticamento, che determina una minore attendibilità all'aumentare del tempo di rilevamento.

Per questo motivo, al fine di ridurre al minimo gli errori durante il rilievo, si è stabilito che il numero minimo di operatori necessari per poter rilevare deve essere di tre (uno per ogni ramo) e gli scenari di monitoraggio siano: uno al mattino dalle ore 7:00 alle 9:00, uno alla sera dalle ore 17:00 alle 19:00.

Il rilevamento manuale, nel nostro caso, consiste semplicemente nel contare e segnare su apposita scheda i veicoli che eseguono determinate manovre.

Durante il rilevamento manuale, ad ogni operatore è stata assegnata una tabella sulla quale doveva essere riportato il numero di veicoli che effettuano, in un tempo prestabilito, determinate manovre.

Ogni operatore è stato posizionato su un ramo e le manovre sono state così rilevate:

- Operatore 1 (posizionato sul ramo 1): manovre 1-2; 1-3
- Operatore 2 (posizionato sul ramo 2): manovre 2-1; 2-3
- Operatore 3 (posizionato sul ramo 3): manovre 3-1;3-2

Nelle tabelle assegnate a ogni singolo operatore sono distinte le categorie di veicolo che effettuano una determinata manovra. Per fare ciò è stata assegnata una lettera diversa per ogni categoria di veicolo:

- A → per i veicoli leggeri: rientrano in questa categorie auto, caravan e mezzi commerciali leggeri
- P → per i veicoli pesanti: rientrano in questa categoria mezzi commerciali pesanti, gli autobus e mezzi pesanti
- M → per motocicli

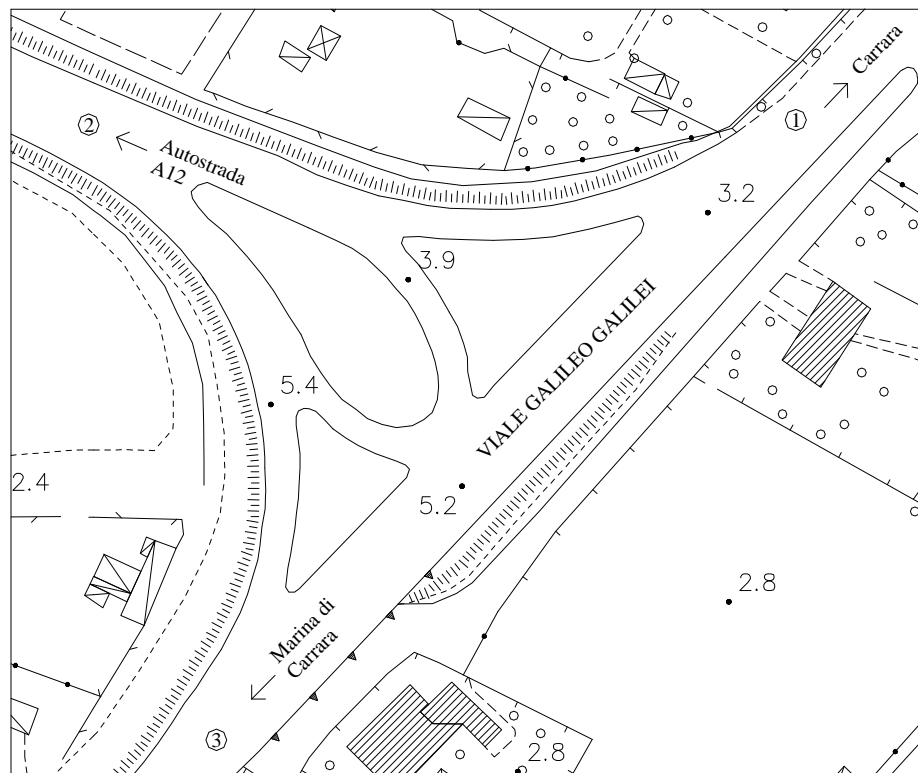


Figura 3.1. Schema dell'intersezione attuale

3.4- Dati rilevati

I risultati ottenuti dai rilevamenti sono stati inseriti nelle tabelle di seguito riportate.

Ogni tabella è rappresentativa di un giorno di rilevamento ed è divisa in due parti, una per ogni scenario di rilevamento (scenario della mattina 7:00 – 9:00 ; scenario della sera 17:00 – 19:00).

Ogni scenario è poi diviso in ore ed ogni ora in quarti d'ora.

In colonna si trova la divisione in categorie dei flussi di traffico, mentre in riga abbiamo invece le manovre rilevate.

Questo per quanto riguarda le tabelle dei veicoli effettivi.

Martedì 4/11/2008

Scenario della mattina 7:00 – 9:00

	7:00 - 7:15				7:15 - 7:30				7:30 - 7:45				7:45 - 8:00			
	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ
Man 1-2	0	59	5	64	2	80	4	86	0	81	4	85	0	78	5	83
Man 1-3	2	53	4	59	2	75	7	84	10	148	6	164	2	89	5	96
Man 2-1	0	25	4	29	0	38	3	41	0	51	3	54	0	37	2	39
Man 2-3	0	17	5	22	0	24	6	30	0	29	11	40	0	36	5	41
Man 3-1	5	64	4	73	5	85	8	98	18	123	11	152	20	148	9	177
Man 3-2	1	11	3	15	0	22	5	27	0	26	6	32	0	36	7	43
	8:00 - 8:15				8:15 - 8:30				8:30-8:45				8:45 - 9:00			
	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ
Man 1-2	1	82	4	87	1	78	5	84	0	82	4	86	3	59	3	65
Man 1-3	2	127	3	132	12	137	4	153	4	113	5	122	4	141	6	151
Man 2-1	0	43	4	47	0	40	4	44	0	47	3	50	0	44	3	47
Man 2-3	1	41	8	50	0	45	7	52	0	41	14	55	0	44	6	50
Man 3-1	7	156	10	173	5	150	9	164	5	161	14	180	5	151	9	165
Man 3-2	2	38	6	46	0	37	4	41	0	37	5	42	1	34	10	45

Scenario della sera 17:00 – 19:00

	17:00 - 17:15				17:15 - 17:30				17:30 - 17:45				17:45 - 18:00			
	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ
Man 1-2	0	59	4	63	0	77	5	82	0	69	5	74	0	81	4	85
Man 1-3	6	108	0	114	14	121	0	135	6	132	2	140	6	139	5	150
Man 2-1	1	40	5	46	1	76	2	79	1	74	3	78	1	64	4	69
Man 2-3	0	32	3	35	0	46	3	49	1	43	4	48	3	39	6	48
Man 3-1	5	159	2	166	4	152	3	159	8	173	6	187	6	177	2	185
Man 3-2	0	11	3	14	0	12	5	17	0	23	4	27	0	31	3	34
	18:00 - 18:15				18:15 - 18:30				18:30-18:45				18:45 - 19:00			
	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ
Man 1-2	0	74	6	80	0	79	3	82	0	83	3	86	0	66	3	69
Man 1-3	10	146	6	162	4	144	3	151	6	150	5	161	16	147	0	163
Man 2-1	2	72	3	77	0	73	2	75	1	57	6	64	1	70	5	76
Man 2-3	1	50	5	56	0	37	2	39	1	51	3	55	2	41	3	46
Man 3-1	9	182	3	194	5	179	4	188	7	181	5	193	9	173	7	189
Man 3-2	0	29	6	35	0	44	10	54	0	31	3	34	0	29	4	33

Mercoledì 5/11/2008

Scenario della mattina 7:00 – 9:00

	7:00 - 7:15				7:15 - 7:30				7:30 - 7:45				7:45 - 8:00			
	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ
Man 1-2	0	58	4	62	0	75	4	79	0	72	3	75	0	76	5	81
Man 1-3	0	113	4	117	0	123	3	126	0	132	5	137	1	144	2	147
Man 2-1	0	31	5	36	2	62	4	68	1	73	3	77	0	70	4	74
Man 2-3	1	12	1	14	0	21	3	24	1	33	6	40	2	44	7	53
Man 3-1	0	70	3	73	1	92	3	96	0	121	8	129	20	166	5	191
Man 3-2	1	20	2	23	0	13	2	15	0	30	5	35	0	36	6	42
	8:00 - 8:15				8:15 - 8:30				8:30-8:45				8:45 - 9:00			
	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ
Man 1-2	0	72	6	78	1	76	4	81	0	84	3	87	0	80	4	84
Man 1-3	0	153	5	158	0	146	5	151	1	146	4	151	1	153	2	156
Man 2-1	4	72	3	79	3	65	6	74	0	71	4	75	0	72	4	76
Man 2-3	0	48	9	57	0	52	8	60	2	50	7	59	0	51	5	56
Man 3-1	1	182	5	188	0	173	5	178	0	171	8	179	1	164	8	173
Man 3-2	1	33	5	39	1	46	4	51	1	40	5	46	0	37	7	44

Scenario della sera 17:00 – 19:00

	17:00 - 17:15				17:15 - 17:30				17:30 - 17:45				17:45 - 18:00			
	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ
Man 1-2	1	69	4	74	0	76	5	81	2	59	6	67	1	78	4	83
Man 1-3	6	112	1	119	8	116	0	124	14	118	0	132	10	157	0	167
Man 2-1	3	46	4	53	4	61	5	70	1	55	5	61	2	76	1	79
Man 2-3	0	33	4	37	0	47	3	50	0	41	3	44	1	45	4	50
Man 3-1	4	153	1	158	5	155	3	163	10	171	2	183	7	177	5	189
Man 3-2	0	11	0	11	0	17	1	18	1	22	3	26	1	27	3	31
	18:00 - 18:15				18:15 - 18:30				18:30-18:45				18:45 - 19:00			
	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ
Man 1-2	0	70	6	76	2	78	4	84	1	84	2	87	3	81	3	87
Man 1-3	3	148	5	156	10	139	3	152	8	132	4	144	6	148	1	155
Man 2-1	0	69	5	74	6	66	4	76	0	49	6	55	1	76	2	79
Man 2-3	0	52	5	57	0	48	2	50	3	50	7	60	2	48	3	53
Man 3-1	5	178	5	188	9	180	8	197	8	170	7	185	4	171	6	181
Man 3-2	1	32	6	39	2	25	5	32	0	43	5	48	3	32	4	39

Giovedì 6/11/2008

Scenario della mattina 7:00 – 9:00

	7:00 - 7:15				7:15 - 7:30				7:30 - 7:45				7:45 - 8:00			
	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ
Man 1-2	0	68	3	71	0	77	4	81	2	80	3	85	1	79	5	85
Man 1-3	1	45	2	48	1	52	4	57	6	85	4	95	10	99	5	114
Man 2-1	2	37	5	44	5	57	5	67	0	67	6	73	1	78	1	80
Man 2-3	0	31	4	35	0	38	4	42	1	47	6	54	1	41	8	50
Man 3-1	0	101	2	103	0	94	4	98	1	119	6	126	1	151	3	155
Man 3-2	0	13	2	15	2	18	1	21	6	26	7	39	12	30	8	50
	8:00 - 8:15				8:15 - 8:30				8:30-8:45				8:45 - 9:00			
	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ
Man 1-2	1	82	4	87	1	82	3	86	0	76	4	80	3	82	3	88
Man 1-3	10	95	9	114	8	117	5	130	6	119	7	132	6	109	7	122
Man 2-1	1	73	3	77	1	74	3	78	0	71	2	73	2	68	5	75
Man 2-3	2	48	7	57	0	51	8	59	0	50	9	59	1	49	6	56
Man 3-1	2	173	1	176	0	170	1	171	1	160	1	162	1	158	3	162
Man 3-2	8	32	8	48	6	40	3	49	2	37	2	41	2	39	1	42

Scenario della sera 17:00 – 19:00

	17:00 - 17:15				17:15 - 17:30				17:30 - 17:45				17:45 - 18:00			
	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ
Man 1-2	1	61	3	65	1	99	7	107	0	69	6	75	2	72	4	78
Man 1-3	0	47	2	49	2	40	3	45	6	64	3	73	6	84	5	95
Man 2-1	0	43	4	47	0	43	4	47	2	61	3	66	3	73	2	78
Man 2-3	1	31	1	33	0	38	1	39	0	48	5	53	1	41	4	46
Man 3-1	0	110	3	113	2	143	3	148	4	155	3	162	8	168	5	181
Man 3-2	0	10	2	12	0	12	1	13	0	26	3	29	1	33	4	38
	18:00 - 18:15				18:15 - 18:30				18:30-18:45				18:45 - 19:00			
	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ	M	A	P	Σ
Man 1-2	1	80	4	85	3	81	4	88	1	72	3	76	1	79	5	85
Man 1-3	12	100	6	118	10	93	5	108	8	113	4	125	6	112	4	122
Man 2-1	1	73	2	76	0	72	3	75	0	76	2	78	2	75	1	78
Man 2-3	2	50	6	58	0	51	5	56	3	48	5	56	3	44	4	51
Man 3-1	4	175	5	184	9	160	6	175	7	171	7	185	7	174	6	187
Man 3-2	2	27	5	34	1	38	6	45	1	34	6	41	2	25	4	31

I dati acquisiti dal rilievo, riportati nelle tabelle precedenti per ogni scenario, verranno convertiti in unità equivalenti di autovetture (uvp) utilizzando i seguenti coefficienti di equivalenza:

1 veicolo leggero = 1 uvp

1 veicolo pesante = 2 uvp

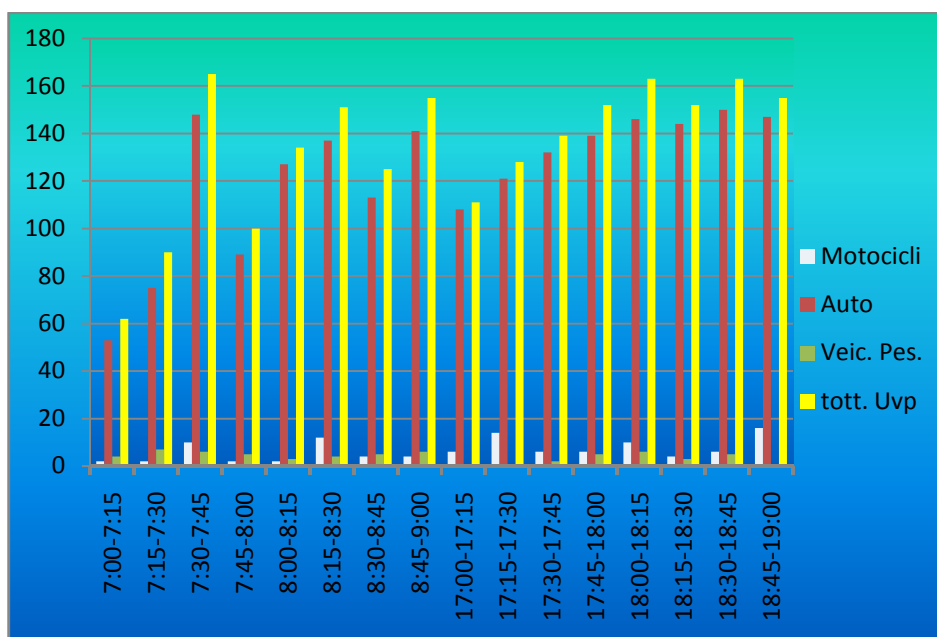
1 veicolo a due ruote = 0,5 uvp

Qui di seguito verranno riportati, per ogni manovra e per ogni giorno di rilievo, il numero dei veicoli e le corrispondenti unità equivalenti di autovetture (uvp), sia in modo grafico e tabellato, che compiono quella manovra.

Manovra 1-3

Martedì 4/11/2008

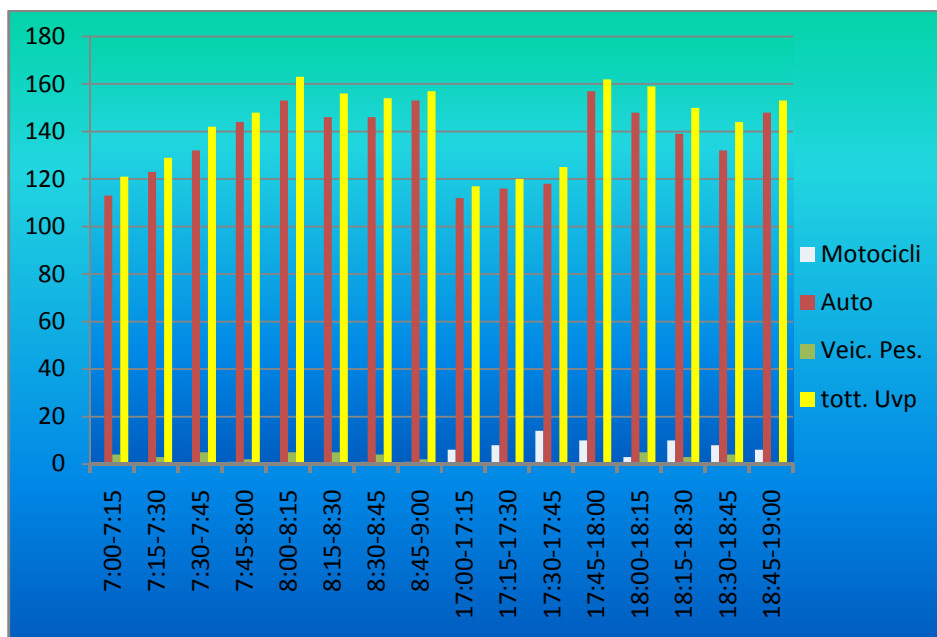
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	2	53	4	62
7:15-7:30	2	75	7	90
7:30-7:45	10	148	6	165
7:45-8:00	2	89	5	100
8:00-8:15	2	127	3	134
8:15-8:30	12	137	4	151
8:30-8:45	4	113	5	125
8:45-9:00	4	141	6	155
17:00-17:15	6	108	0	111
17:15-17:30	14	121	0	128
17:30-17:45	6	132	2	139
17:45-18:00	6	139	5	152
18:00-18:15	10	146	6	163
18:15-18:30	4	144	3	152
18:30-18:45	6	150	5	163
18:45-19:00	16	147	0	155



Manovra 1-3

Mercoledì 5/11/2008

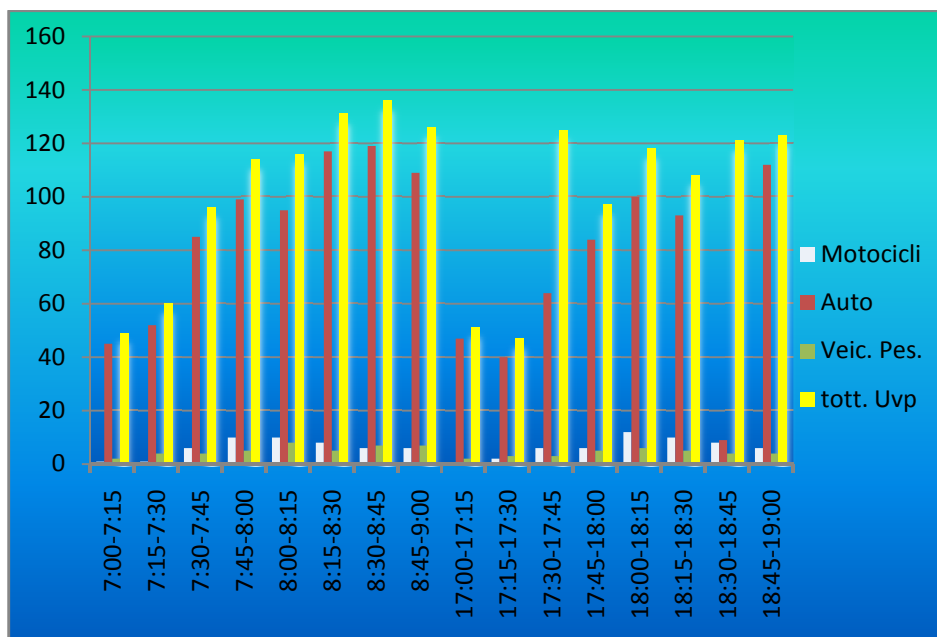
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	0	113	4	121
7:15-7:30	0	123	3	129
7:30-7:45	0	132	5	142
7:45-8:00	1	144	2	148
8:00-8:15	0	153	5	163
8:15-8:30	0	146	5	156
8:30-8:45	1	146	4	154
8:45-9:00	1	153	2	157
17:00-17:15	6	112	1	117
17:15-17:30	8	116	0	120
17:30-17:45	14	118	0	125
17:45-18:00	10	157	0	162
18:00-18:15	3	148	5	159
18:15-18:30	10	139	3	150
18:30-18:45	8	132	4	144
18:45-19:00	6	148	1	153



Manovra 1-3

Giovedì 6/11/2008

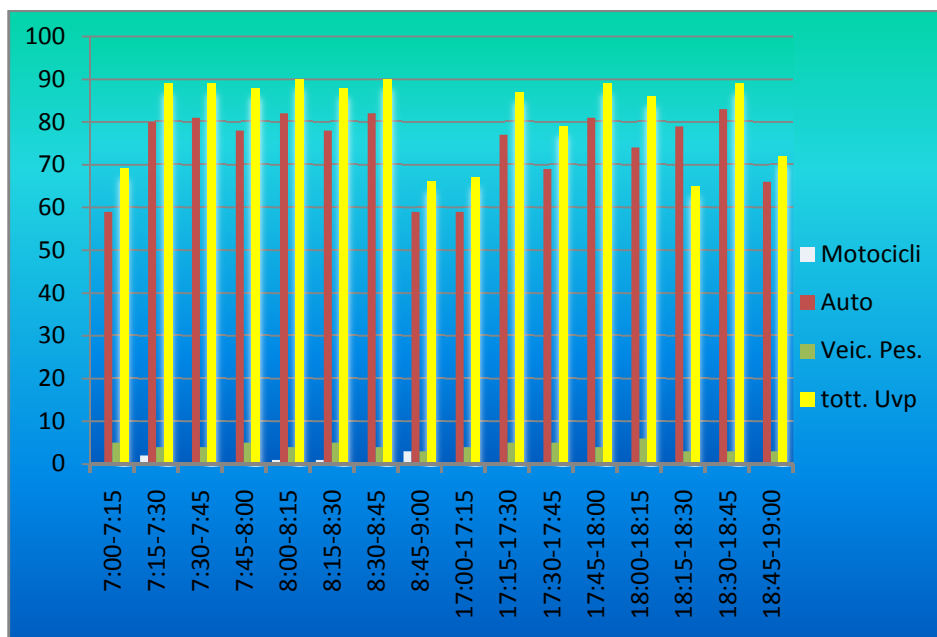
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	1	45	2	49
7:15-7:30	1	52	4	60
7:30-7:45	6	85	4	96
7:45-8:00	10	99	5	114
8:00-8:15	10	95	8	116
8:15-8:30	8	117	5	131
8:30-8:45	6	119	7	136
8:45-9:00	6	109	7	126
17:00-17:15	0	47	2	51
17:15-17:30	2	40	3	47
17:30-17:45	6	64	3	125
17:45-18:00	6	84	5	97
18:00-18:15	12	100	6	118
18:15-18:30	10	93	5	108
18:30-18:45	8	109	4	121
18:45-19:00	6	112	4	123



Manovra 1-2

Martedì 4/11/2008

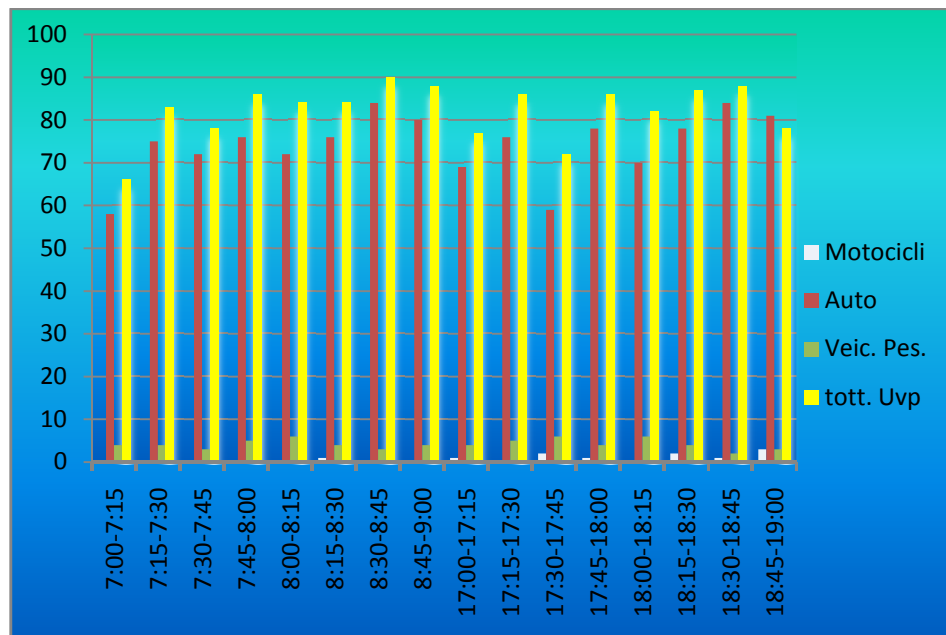
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	0	59	5	69
7:15-7:30	2	80	4	89
7:30-7:45	0	81	4	89
7:45-8:00	0	78	5	88
8:00-8:15	1	82	4	90
8:15-8:30	1	78	5	88
8:30-8:45	0	82	4	90
8:45-9:00	3	59	3	66
17:00-17:15	0	59	4	67
17:15-17:30	0	77	5	87
17:30-17:45	0	69	5	79
17:45-18:00	0	81	4	89
18:00-18:15	0	74	6	86
18:15-18:30	0	79	3	85
18:30-18:45	0	83	3	89
18:45-19:00	0	66	3	72



Manovra 1-2

Mercoledì 5/11/2008

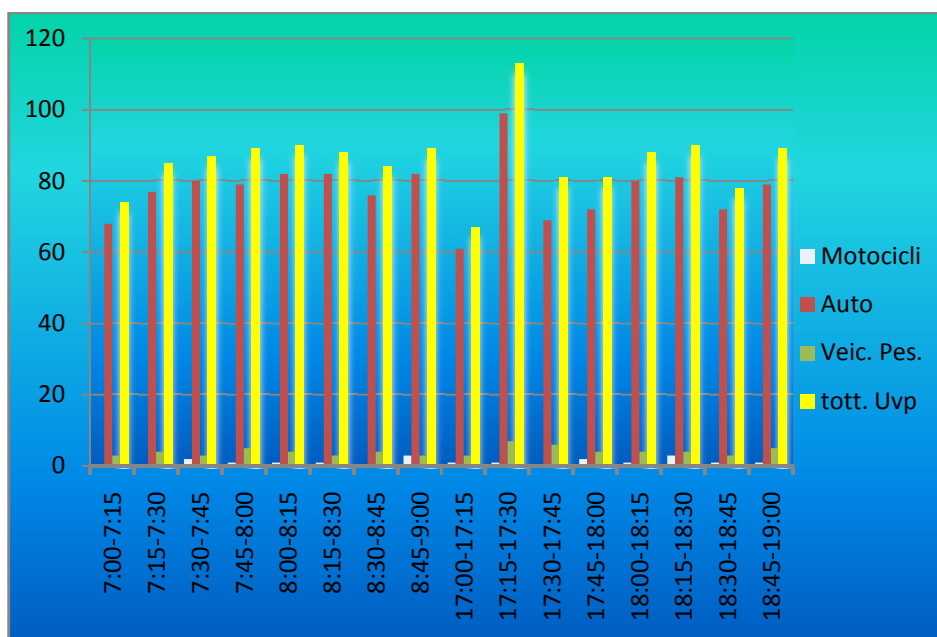
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	0	58	4	66
7:15-7:30	0	75	4	83
7:30-7:45	0	72	3	78
7:45-8:00	0	76	5	86
8:00-8:15	0	72	6	84
8:15-8:30	1	76	4	84
8:30-8:45	0	84	3	90
8:45-9:00	0	80	4	88
17:00-17:15	1	69	4	77
17:15-17:30	0	76	5	86
17:30-17:45	2	59	6	72
17:45-18:00	1	78	4	86
18:00-18:15	0	70	6	82
18:15-18:30	2	78	4	87
18:30-18:45	1	84	2	88
18:45-19:00	3	81	3	78



Manovra 1-2

Giovedì 6/11/2008

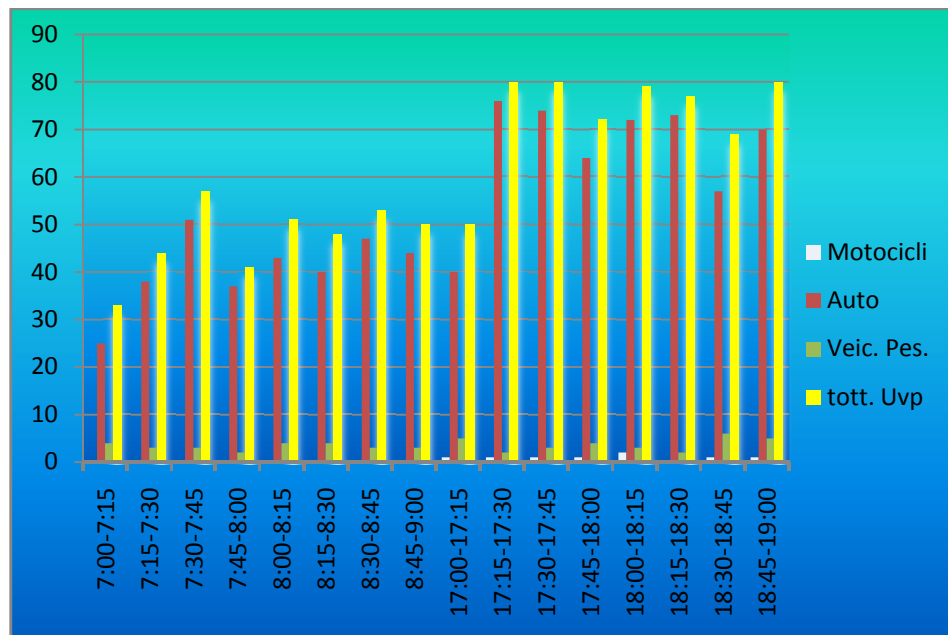
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	0	68	3	74
7:15-7:30	0	77	4	85
7:30-7:45	2	80	3	87
7:45-8:00	1	79	5	89
8:00-8:15	1	82	4	90
8:15-8:30	1	82	3	88
8:30-8:45	0	76	4	84
8:45-9:00	3	82	3	89
17:00-17:15	1	61	3	67
17:15-17:30	1	99	7	113
17:30-17:45	0	69	6	81
17:45-18:00	2	72	4	81
18:00-18:15	1	80	4	88
18:15-18:30	3	81	4	90
18:30-18:45	1	72	3	78
18:45-19:00	1	79	5	89



Manovra 2-1

Martedì 4/11/2008

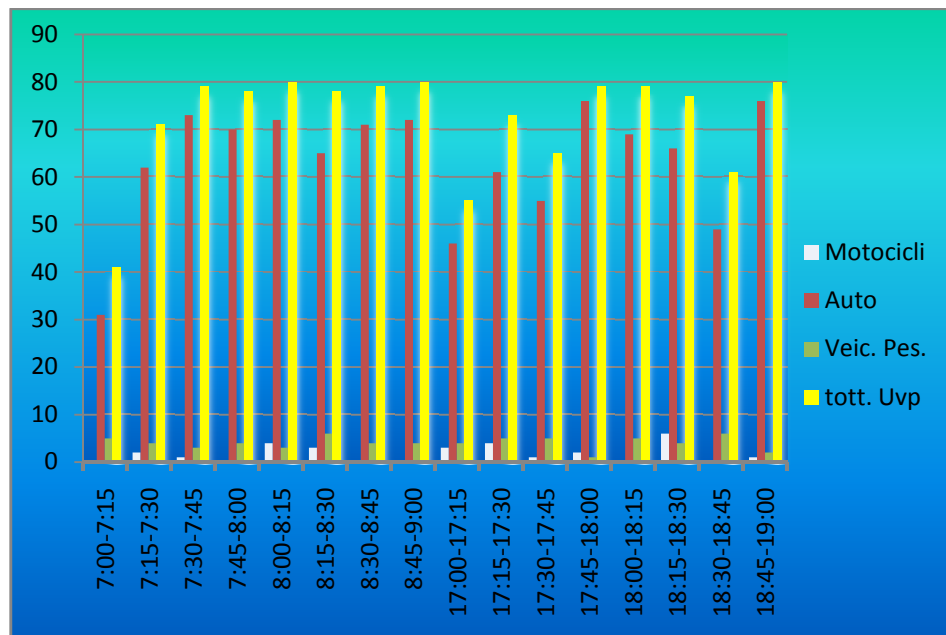
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	0	25	4	33
7:15-7:30	0	38	3	44
7:30-7:45	0	51	3	57
7:45-8:00	0	37	2	41
8:00-8:15	0	43	4	51
8:15-8:30	0	40	4	48
8:30-8:45	0	47	3	53
8:45-9:00	0	44	3	50
17:00-17:15	1	40	5	50
17:15-17:30	1	76	2	80
17:30-17:45	1	74	3	80
17:45-18:00	1	64	4	72
18:00-18:15	2	72	3	79
18:15-18:30	0	73	2	77
18:30-18:45	1	57	6	69
18:45-19:00	1	70	5	80



Manovra 2-1

Mercoledì 5/11/2008

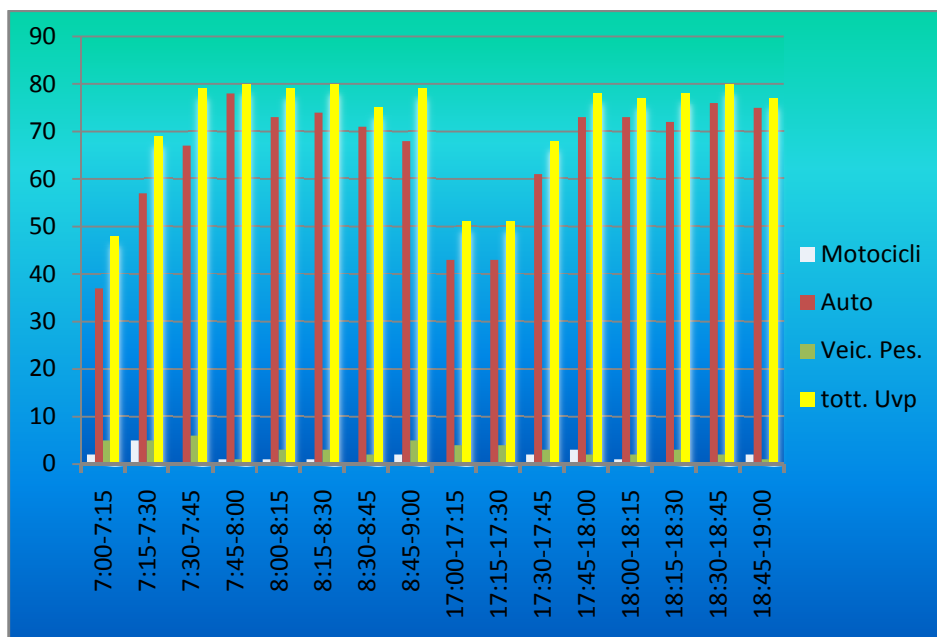
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	0	31	5	41
7:15-7:30	2	62	4	71
7:30-7:45	1	73	3	79
7:45-8:00	0	70	4	78
8:00-8:15	4	72	3	80
8:15-8:30	3	65	6	78
8:30-8:45	0	71	4	79
8:45-9:00	0	72	4	80
17:00-17:15	3	46	4	55
17:15-17:30	4	61	5	73
17:30-17:45	1	55	5	65
17:45-18:00	2	76	1	79
18:00-18:15	0	69	5	79
18:15-18:30	6	66	4	77
18:30-18:45	0	49	6	61
18:45-19:00	1	76	2	80



Manovra 2-1

Giovedì 6/11/2008

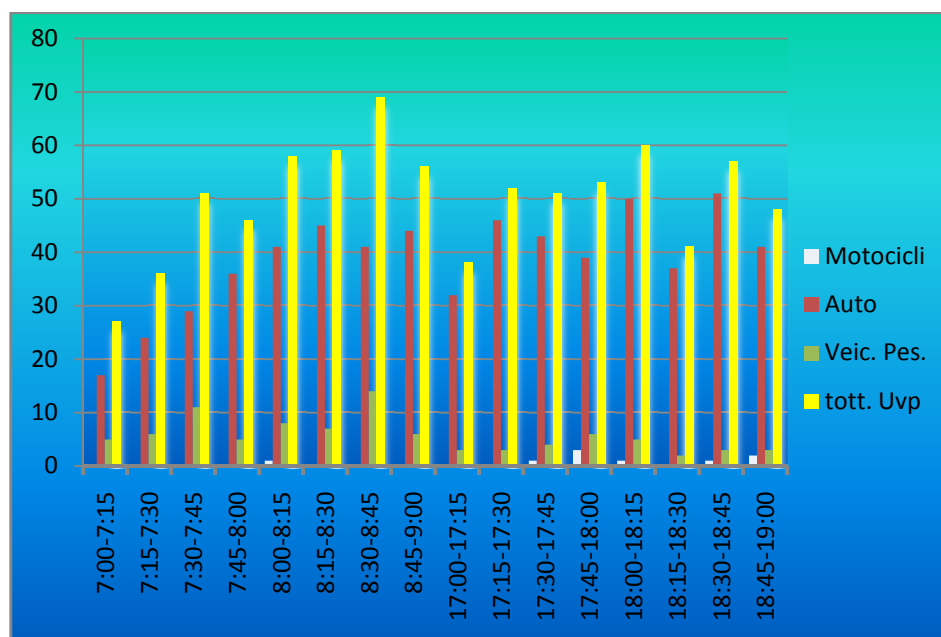
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	2	37	5	48
7:15-7:30	5	57	5	69
7:30-7:45	0	67	6	79
7:45-8:00	1	78	1	80
8:00-8:15	1	73	3	79
8:15-8:30	1	74	3	80
8:30-8:45	0	71	2	75
8:45-9:00	2	68	5	79
17:00-17:15	0	43	4	51
17:15-17:30	0	43	4	51
17:30-17:45	2	61	3	68
17:45-18:00	3	73	2	78
18:00-18:15	1	73	2	77
18:15-18:30	0	72	3	78
18:30-18:45	0	76	2	80
18:45-19:00	2	75	1	77



Manovra 2-3

Martedì 4/11/2008

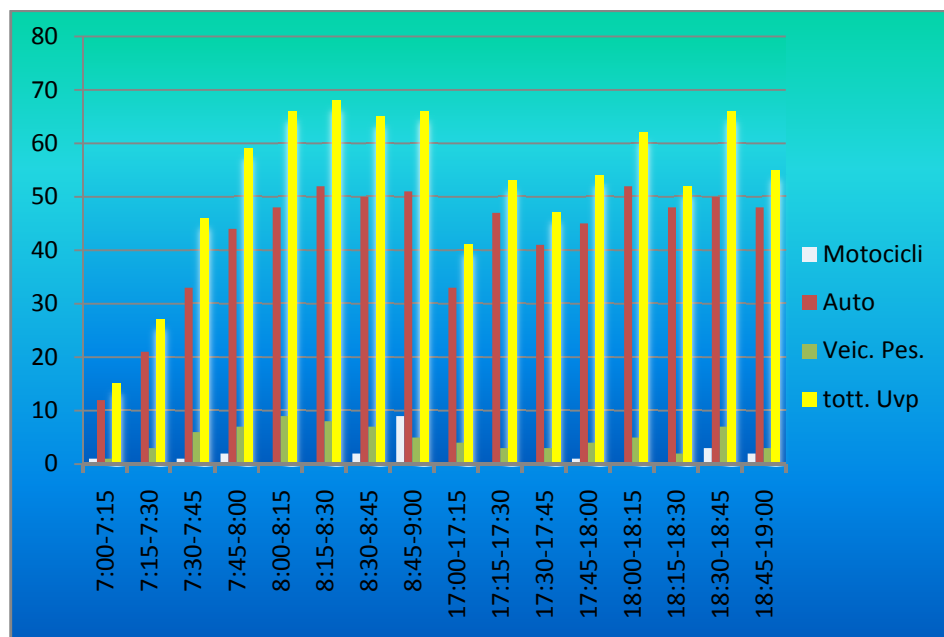
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	0	17	5	27
7:15-7:30	0	24	6	36
7:30-7:45	0	29	11	51
7:45-8:00	0	36	5	46
8:00-8:15	1	41	8	58
8:15-8:30	0	45	7	59
8:30-8:45	0	41	14	69
8:45-9:00	0	44	6	56
17:00-17:15	0	32	3	38
17:15-17:30	0	46	3	52
17:30-17:45	1	43	4	51
17:45-18:00	3	39	6	53
18:00-18:15	1	50	5	60
18:15-18:30	0	37	2	41
18:30-18:45	1	51	3	57
18:45-19:00	2	41	3	48



Manovra 2-3

Mercoledì 5/11/2008

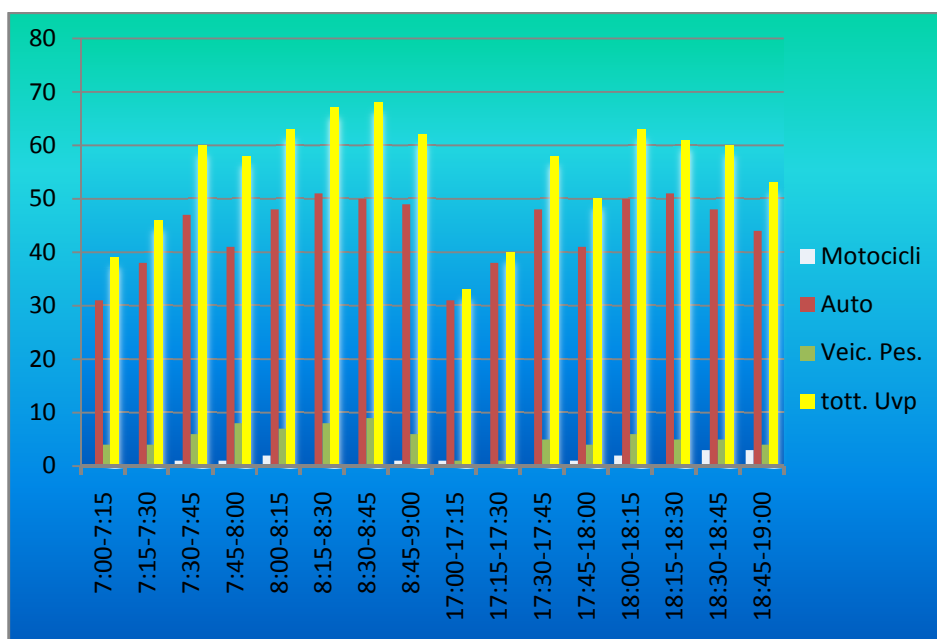
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	1	12	1	15
7:15-7:30	0	21	3	27
7:30-7:45	1	33	6	46
7:45-8:00	2	44	7	59
8:00-8:15	0	48	9	66
8:15-8:30	0	52	8	68
8:30-8:45	2	50	7	65
8:45-9:00	9	51	5	66
17:00-17:15	0	33	4	41
17:15-17:30	0	47	3	53
17:30-17:45	0	41	3	47
17:45-18:00	1	45	4	54
18:00-18:15	0	52	5	62
18:15-18:30	0	48	2	52
18:30-18:45	3	50	7	66
18:45-19:00	2	48	3	55



Manovra 2-3

Giovedì 6/11/2008

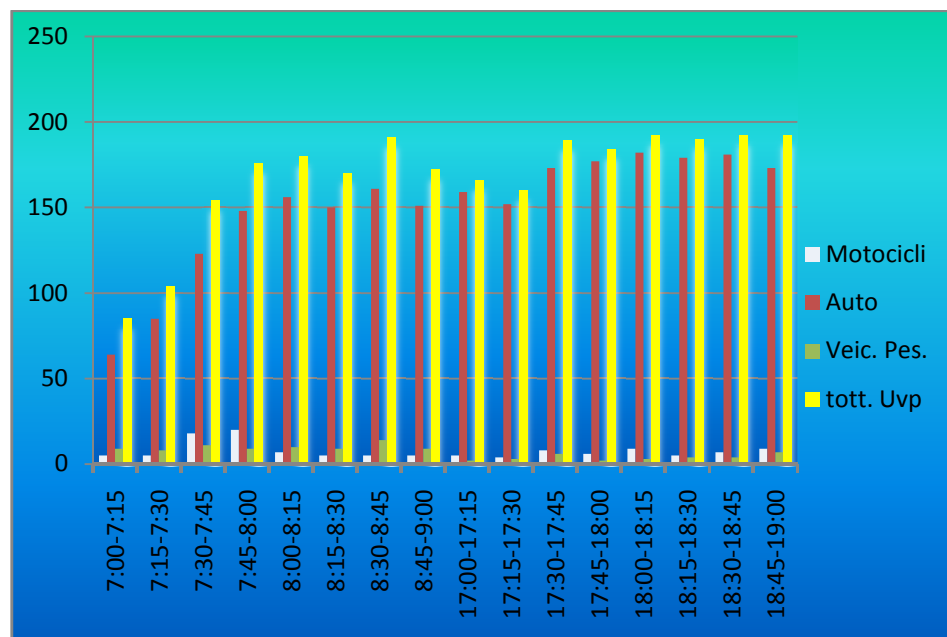
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	0	31	4	39
7:15-7:30	0	38	4	46
7:30-7:45	1	47	6	60
7:45-8:00	1	41	8	58
8:00-8:15	2	48	7	63
8:15-8:30	0	51	8	67
8:30-8:45	0	50	9	68
8:45-9:00	1	49	6	62
17:00-17:15	1	31	1	33
17:15-17:30	0	38	1	40
17:30-17:45	0	48	5	58
17:45-18:00	1	41	4	50
18:00-18:15	2	50	6	63
18:15-18:30	0	51	5	61
18:30-18:45	3	48	5	60
18:45-19:00	3	44	4	53



Manovra 3-1

Martedì 4/11/2008

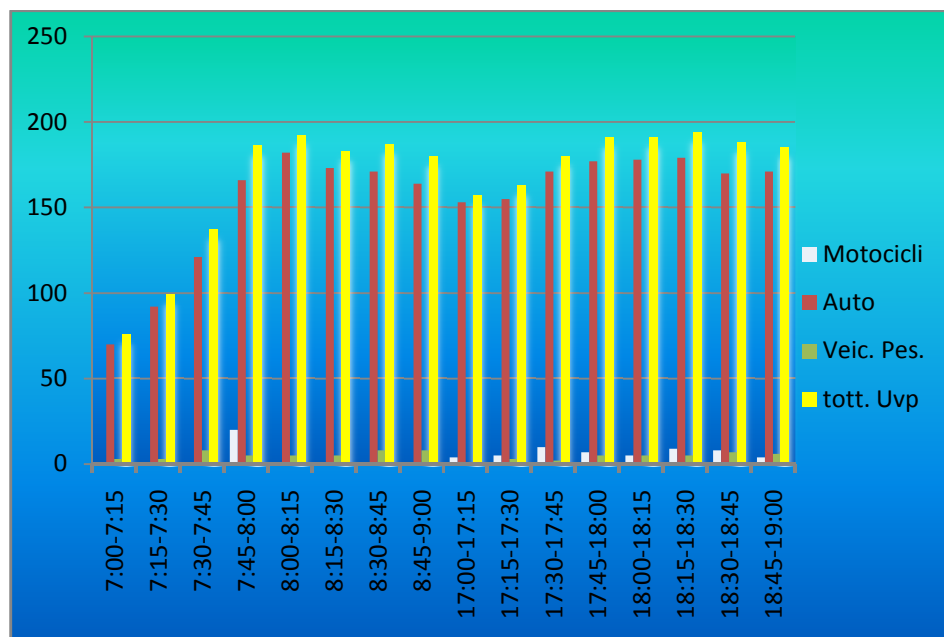
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	5	64	9	85
7:15-7:30	5	85	8	104
7:30-7:45	18	123	11	154
7:45-8:00	20	148	9	176
8:00-8:15	7	156	10	180
8:15-8:30	5	150	9	170
8:30-8:45	5	161	14	191
8:45-9:00	5	151	9	172
17:00-17:15	5	159	2	166
17:15-17:30	4	152	3	160
17:30-17:45	8	173	6	189
17:45-18:00	6	177	2	184
18:00-18:15	9	182	3	192
18:15-18:30	5	179	4	190
18:30-18:45	7	181	4	192
18:45-19:00	9	173	7	192



Manovra 3-1

Mercoledì 5/11/2008

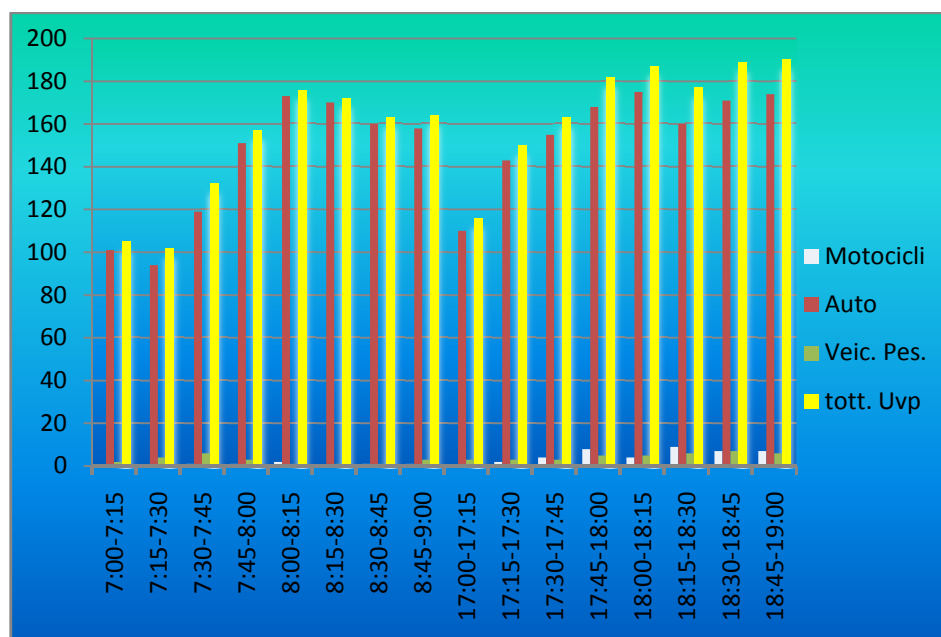
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	0	70	3	76
7:15-7:30	1	92	3	99
7:30-7:45	0	121	8	137
7:45-8:00	20	166	5	186
8:00-8:15	1	182	5	192
8:15-8:30	0	173	5	183
8:30-8:45	0	171	8	187
8:45-9:00	1	164	8	180
17:00-17:15	4	153	1	157
17:15-17:30	5	155	3	163
17:30-17:45	10	171	2	180
17:45-18:00	7	177	5	191
18:00-18:15	5	178	5	191
18:15-18:30	9	179	5	194
18:30-18:45	8	170	7	188
18:45-19:00	4	171	6	185



Manovra 3-1

Giovedì 6/11/2008

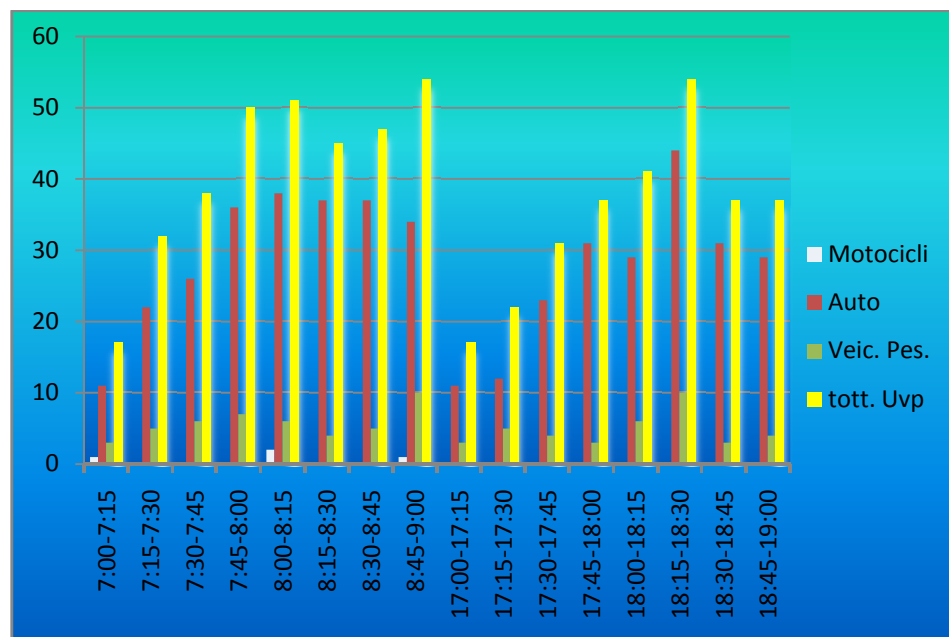
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	0	101	2	105
7:15-7:30	0	94	4	102
7:30-7:45	1	119	6	132
7:45-8:00	1	151	3	157
8:00-8:15	2	173	1	176
8:15-8:30	0	170	1	172
8:30-8:45	1	160	1	163
8:45-9:00	1	158	3	164
17:00-17:15	0	110	3	116
17:15-17:30	2	143	3	150
17:30-17:45	4	155	3	163
17:45-18:00	8	168	5	182
18:00-18:15	4	175	5	187
18:15-18:30	9	160	6	177
18:30-18:45	7	171	7	189
18:45-19:00	7	174	6	190



Manovra 3-2

Martedì 4/11/2008

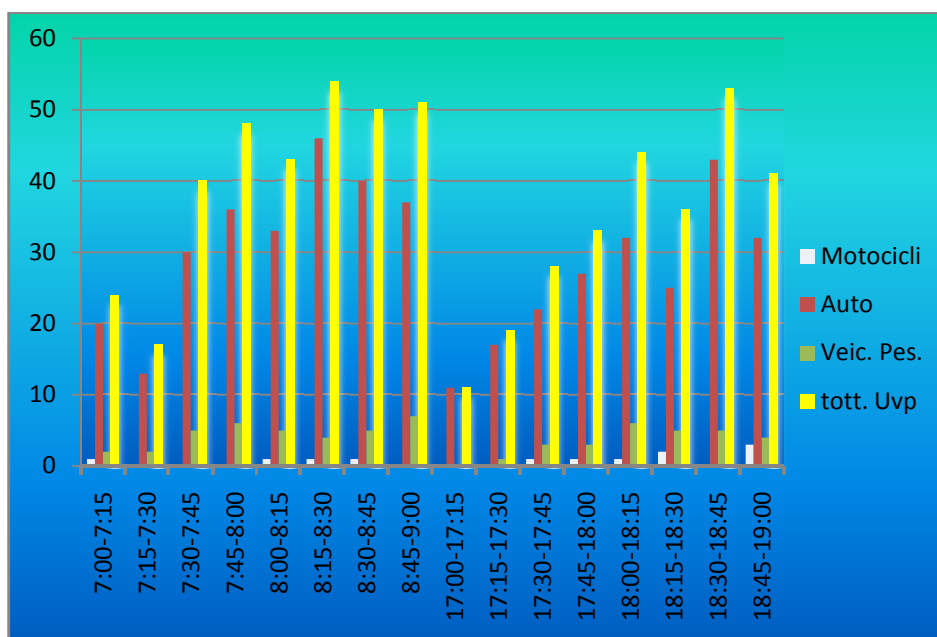
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	1	11	3	17
7:15-7:30	0	22	5	32
7:30-7:45	0	26	6	38
7:45-8:00	0	36	7	50
8:00-8:15	2	38	6	51
8:15-8:30	0	37	4	45
8:30-8:45	0	37	5	47
8:45-9:00	1	34	10	54
17:00-17:15	0	11	3	17
17:15-17:30	0	12	5	22
17:30-17:45	0	23	4	31
17:45-18:00	0	31	3	37
18:00-18:15	0	29	6	41
18:15-18:30	0	44	10	54
18:30-18:45	0	31	3	37
18:45-19:00	0	29	4	37



Manovra 3-2

Mercoledì 5/11/2008

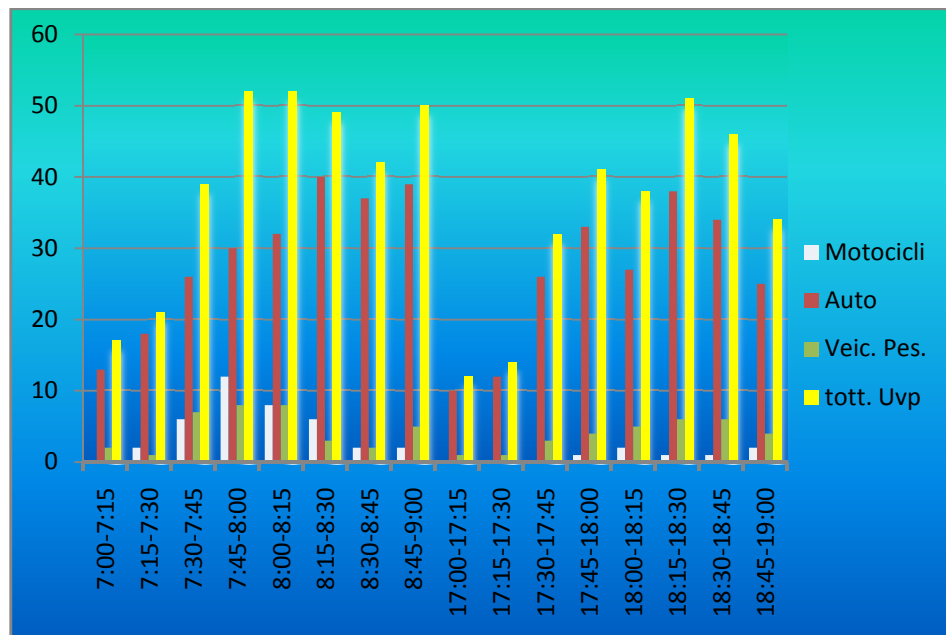
	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	1	20	2	24
7:15-7:30	0	13	2	17
7:30-7:45	0	30	5	40
7:45-8:00	0	36	6	48
8:00-8:15	1	33	5	43
8:15-8:30	1	46	4	54
8:30-8:45	1	40	5	50
8:45-9:00	0	37	7	51
17:00-17:15	0	11	0	11
17:15-17:30	0	17	1	19
17:30-17:45	1	22	3	28
17:45-18:00	1	27	3	33
18:00-18:15	1	32	6	44
18:15-18:30	2	25	5	36
18:30-18:45	0	43	5	53
18:45-19:00	3	32	4	41



Manovra 3-2

Giovedì 6/11/2008

	Motocicli	Auto	Veic. Pes.	tott. Uvp
7:00-7:15	0	13	2	17
7:15-7:30	2	18	1	21
7:30-7:45	6	26	7	39
7:45-8:00	12	30	8	52
8:00-8:15	8	32	8	52
8:15-8:30	6	40	3	49
8:30-8:45	2	37	2	42
8:45-9:00	2	39	5	50
17:00-17:15	0	10	1	12
17:15-17:30	0	12	1	14
17:30-17:45	0	26	3	32
17:45-18:00	1	33	4	41
18:00-18:15	2	27	5	38
18:15-18:30	1	38	6	51
18:30-18:45	1	34	6	46
18:45-19:00	2	25	4	34



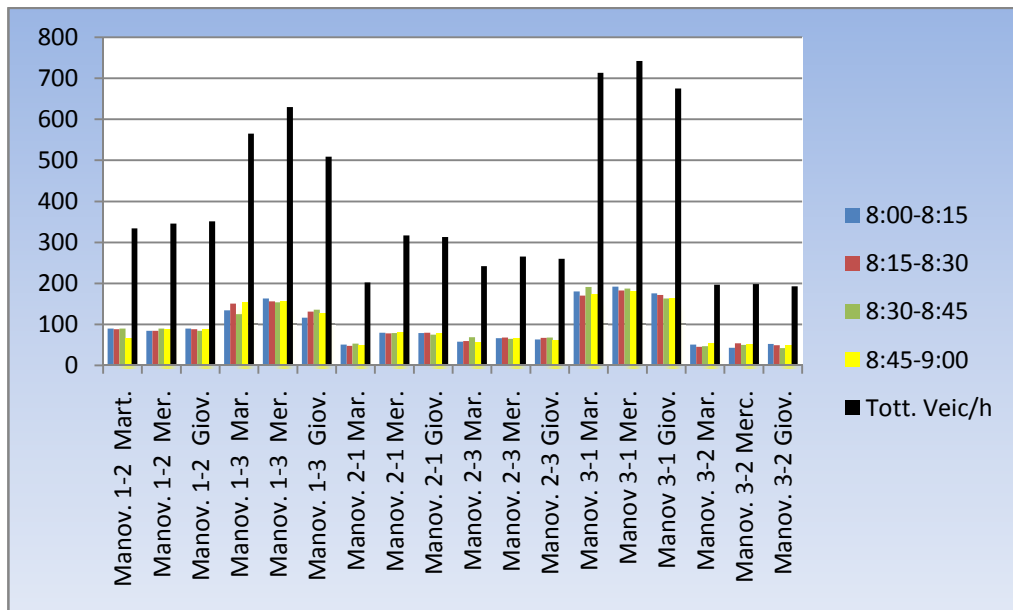
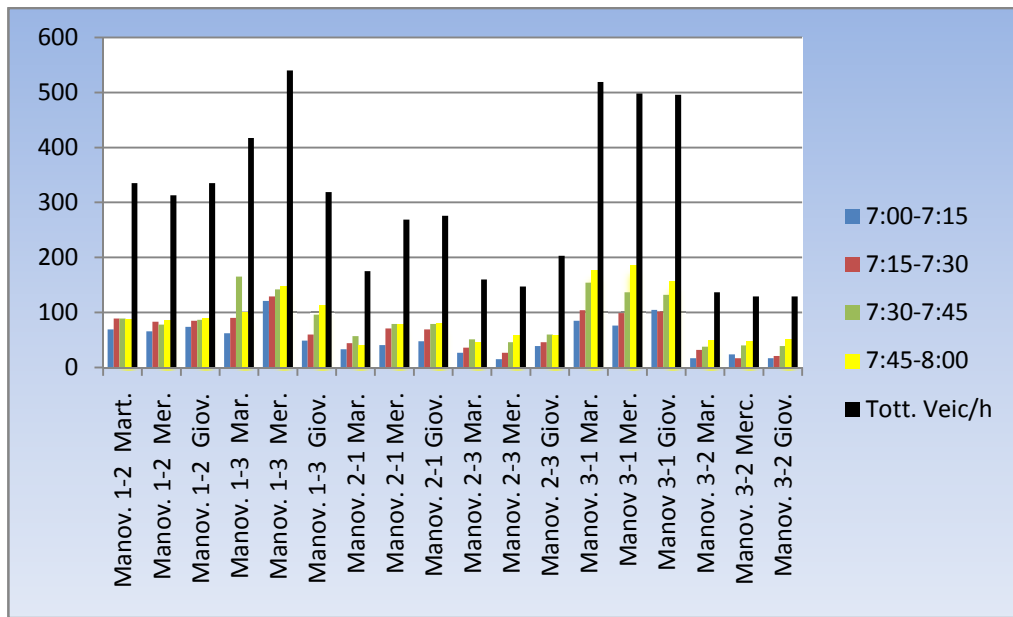
Qui di seguito verranno riportate le tabelle con i soli veicoli equivalenti e i volumi di traffico orario e i diagrammi di flusso per lo scenario della mattina e per quello della sera.

Scenario della mattina 7:00 - 9:00

	Veicoli equivalenti																	
	Manovra 1-2			Manovra 1-3			Manovra 2-1			Manovra 2-3			Manovra 3-1			Manovra 3-2		
	Mar	Mer	Gio	Mar	Mer	Gio	Mar	Mer	Gio	Mar	Mer	Gio	Mar	Mer	Gio	Mar	Mer	Gio
7:00-7:15	69	66	74	62	121	49	33	41	48	27	15	39	85	76	105	17	24	17
7:15-7:30	89	83	85	90	129	60	44	71	69	36	27	46	104	99	102	32	17	21
7:30-7:45	89	78	87	165	142	96	57	79	79	51	46	60	154	137	132	38	40	39
7:45-8:00	88	86	89	100	148	114	41	78	80	46	59	58	176	186	157	50	48	52
veic/h	335	313	335	417	540	319	175	269	276	160	147	203	519	498	496	137	129	129
8:00-8:15	90	84	90	134	163	116	51	80	79	58	66	63	180	192	176	51	43	52
8:15-8:30	88	84	88	151	156	131	48	78	80	59	68	67	170	183	172	45	54	49
8:30-8:45	90	90	84	125	154	136	53	79	75	69	65	68	191	187	163	47	50	42
8:45-9:00	66	88	89	155	157	126	50	80	79	56	66	62	172	180	164	54	51	50
veic/h	334	346	351	565	630	509	202	317	313	242	265	260	713	742	675	197	198	193

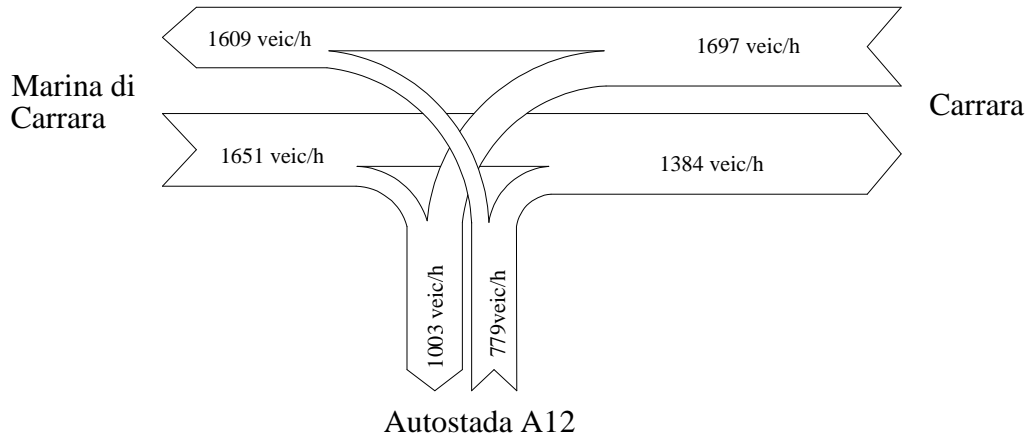
Tab 3.1. Volumi di traffico orario

Riportiamo graficamente i valori riportati in tabella 3.1 nel grafico seguente:

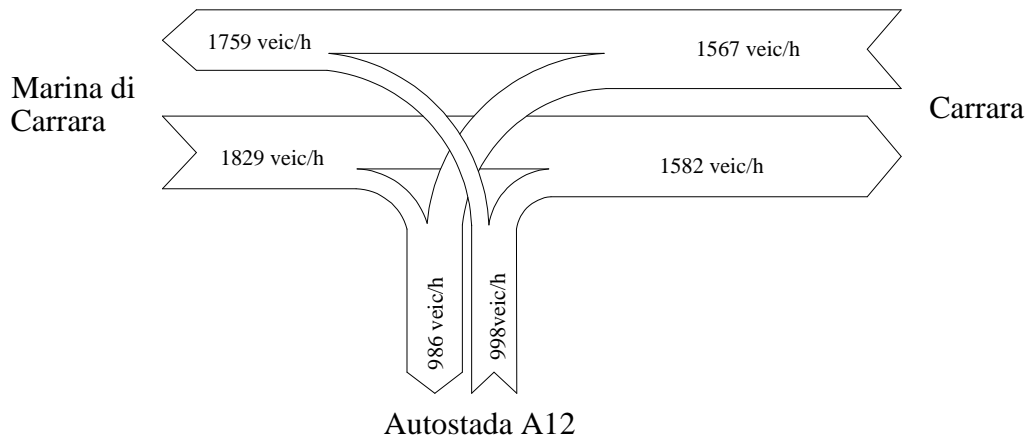


Rappresentiamo graficamente i volumi di traffico orario, sopra determinati, per le singole manovre nei diagrammi dei flussi per gli scenari della mattina.

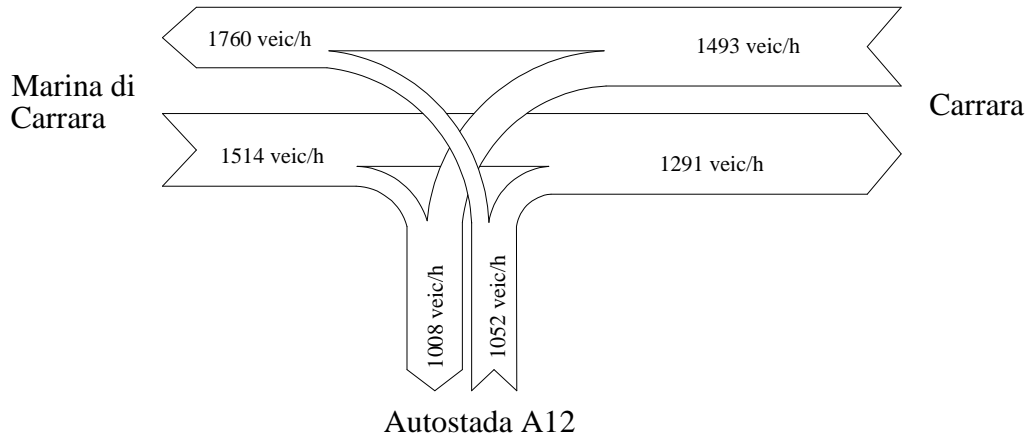
Martedì 7:00 – 9:00



Mercoledì 7:00 – 9:00



Giovedì 7:00 – 9:00

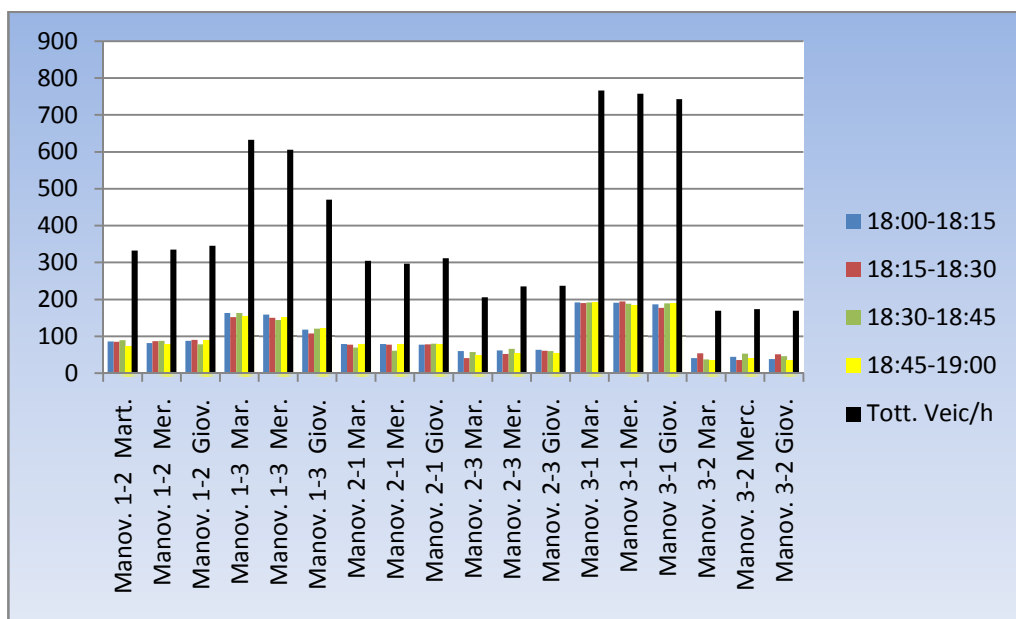
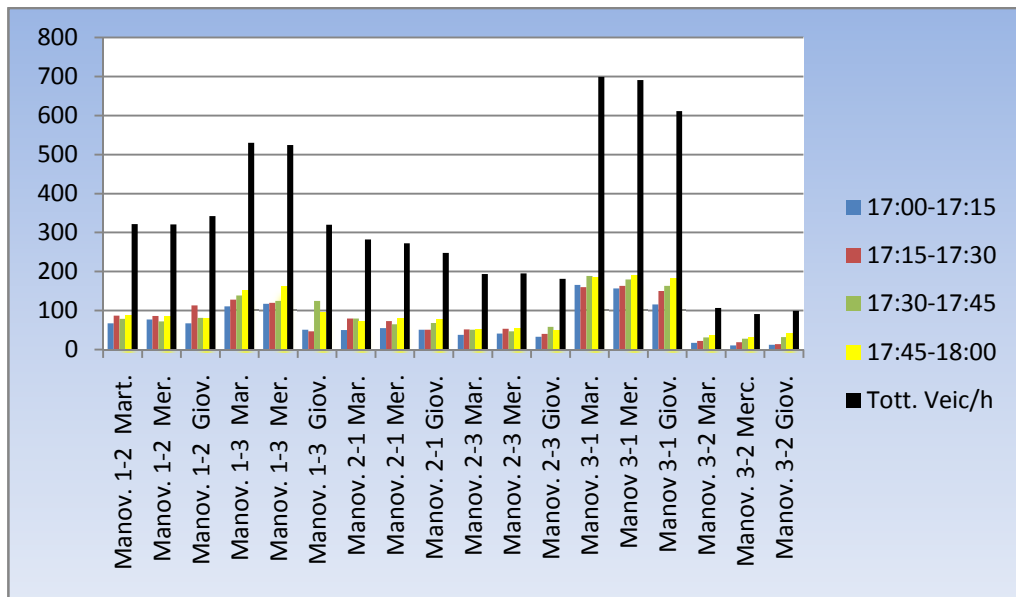


Scenario della sera 17:00 – 19:00

	Veicoli equivalenti																	
	Manovra 1-2			Manovra 1-3			Manovra 2-1			Manovra 2-3			Manovra 3-1			Manovra 3-2		
	Mar	Mer	Gio	Mar	Mer	Gio	Mar	Mer	Gio	Mar	Mer	Gio	Mar	Mer	Gio	Mar	Mer	Gio
17:00-17:	67	77	67	111	117	51	50	55	51	38	41	33	166	157	116	17	11	12
17:15-17:	87	86	113	128	120	47	80	73	51	52	53	40	160	163	150	22	19	14
17:30-17:	79	72	81	139	125	125	80	65	68	51	47	58	189	180	163	31	28	32
17:45-18:	89	86	81	152	162	97	72	79	78	53	54	50	184	191	182	37	33	41
veic/h	322	321	342	530	524	320	282	272	248	194	195	181	699	691	611	107	91	99
18:00-18:	86	82	88	163	159	118	79	79	77	60	62	63	192	191	187	41	44	38
18:15-18:	85	87	90	152	150	108	77	77	78	41	52	61	190	194	177	54	36	51
18:30-18:	89	88	78	163	144	121	69	61	80	57	66	60	192	188	189	37	53	46
18:45-19:	72	78	89	155	153	123	80	80	77	48	55	53	192	185	190	37	41	34
veic/h	332	335	345	633	606	470	305	297	312	206	235	237	766	758	743	169	174	169

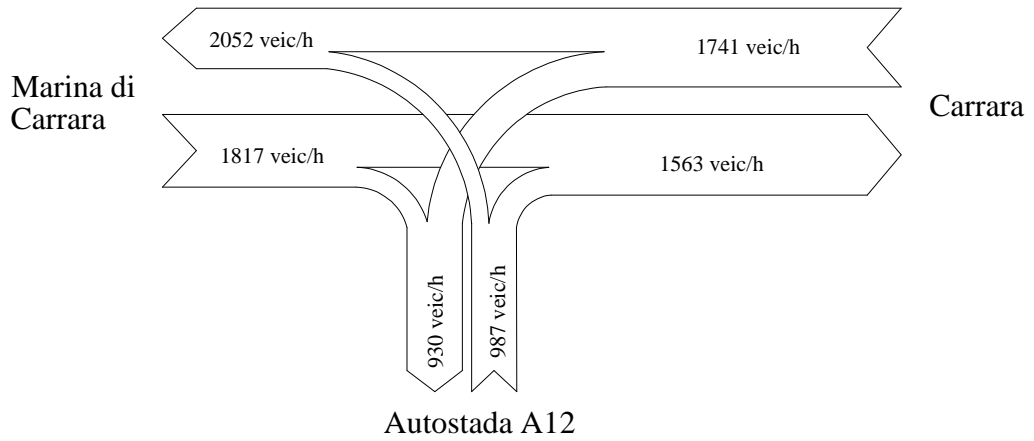
Tab 3.2. Volumi di traffico orario

Riportiamo graficamente i valori riportati in tabella 3.2 nel grafico seguente:

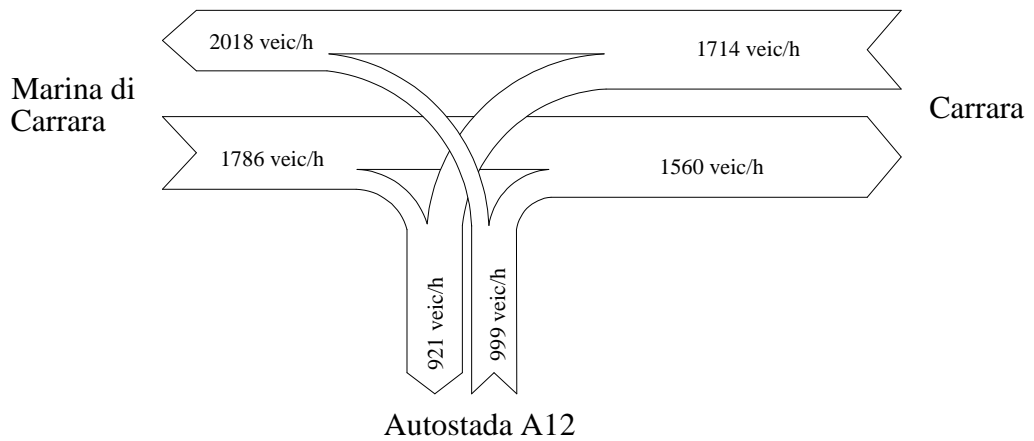


Rappresentiamo graficamente i volumi di traffico orario, sopra determinati, per le singole manovre nei diagrammi dei flussi per gli scenari della sera.

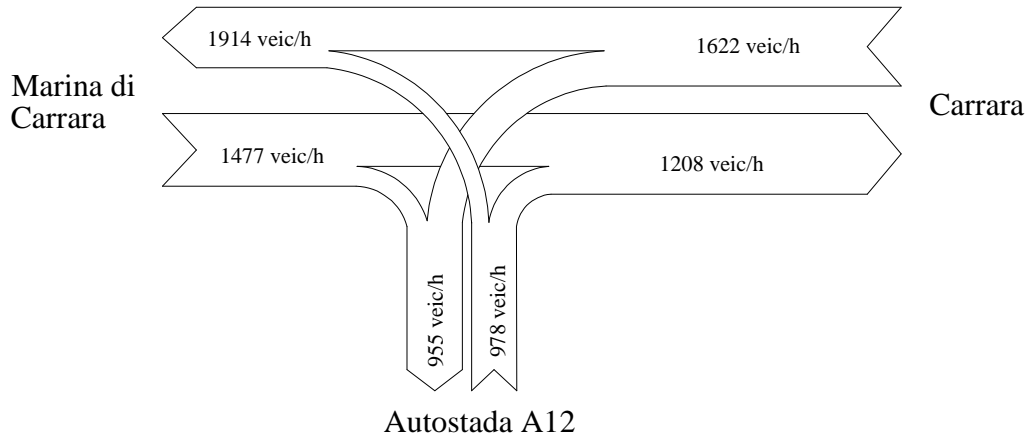
Martedì 17:00 – 19:00



Mercoledì 17:00 – 19:00



Giovedì 17:00 – 19:00



Nella tabella 3.3 sono riassunti il numero totale di veicoli equivalenti durante i due scenari.

	Martedì	Mercoledì	Giovedì
7:00 – 8:00	1743	1896	1758
8:00 – 9:00	2253	2498	2301
17:00 – 18:00	2134	2094	1801
18:00 – 19:00	2411	2405	2276

Tab 3.3. Numero totale dei veicoli equivalenti per i due scenari

Rappresentiamo adesso il numero totale dei veicoli equivalenti per i due scenari anche dal punto di vista grafico come riportato in figura 3.2.

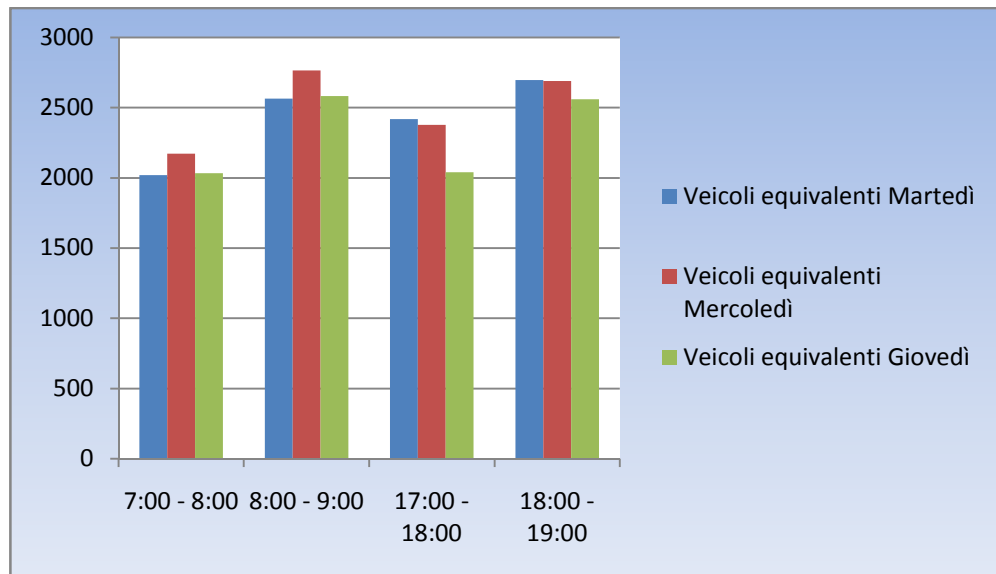


Fig. 3.2. Totale dei veicoli equivalenti per i due scenari

3.5- Analisi dei dati di traffico

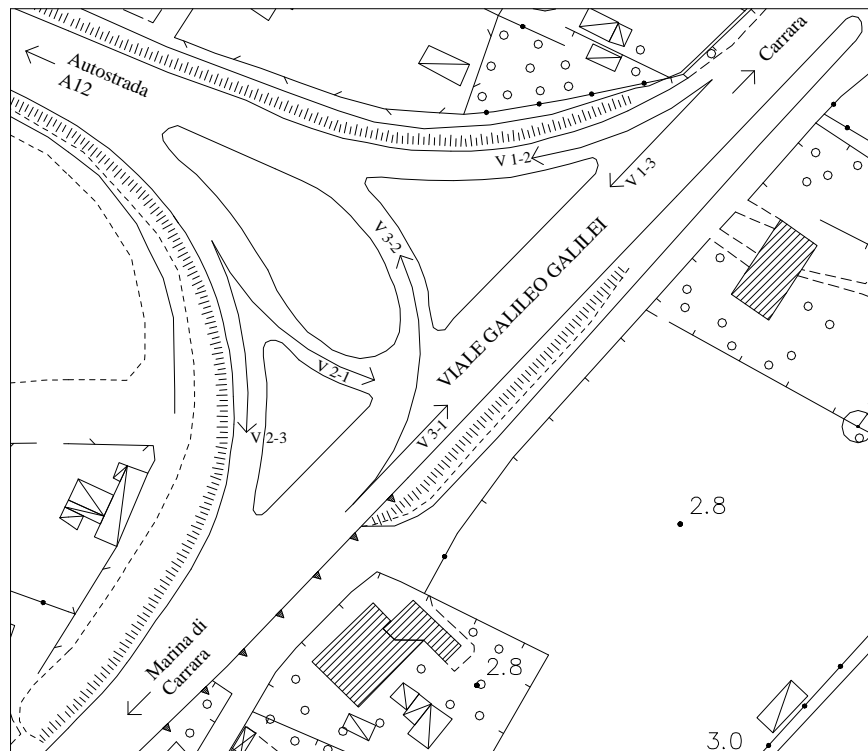


Fig. 3.3. Schema delle manovre nell'intersezione in esame

L'ora più critica risulta essere quella compresa tra le 8:00 e le 9:00 del 5/11/2008.

Riportiamo qui di seguito i veicoli equivalenti relativi all'ora più critica:

	Veicoli equivalenti						
	Man. 1-2	Man. 1-3	Man. 2-1	Man. 2-3	Man. 3-1	Man. 3-2	V15 max
8:00 - 8:15	84	163	80	66	192	43	628
8:15 - 8:30	84	156	78	68	183	54	623
8:30 - 8:45	90	154	79	65	187	50	625
8:45 - 9:00	88	157	80	66	180	51	622
Veic/h	346	630	317	265	742	198	2498

Tab. 3.4. Veicoli equivalenti nell'ora di punta del 5/11/2008

In riferimento all'ora più critica possiamo calcolare, grazie alla tabella 3.4., il volume orario V e la portata di progetto Q_{prog} .

Il volume orario V è pari a 2498 uvp/h, la portata di progetto Q_{prog} viene anche chiamata *portata di punta* ed è definita come i 15 minuti più carichi all'interno dell'ora. Per l'ora critica in esame i 15 minuti più carichi sono quelli dalle 8:00 alle 8:15 con un totale $V_{15 \text{ max}}$ di 628 uvp/h (vedi tab. 3.4).

Quindi, la portata di progetto è: $Q_{\text{prog}} = V_{15 \text{ max}} \cdot 4 = 628 \text{ uvp/h} \cdot 4 = 2512 \text{ uvp/h}$.

Una volta calcolato il volume orario e la portata di progetto, possiamo calcolare il *fattore dell'ora di punta* phf , definito come il rapporto tra il volume orario V e quattro volte i quindici minuti più carichi all'interno dell'ora ($V_{15 \text{ max}}$).

$$phf = \frac{V}{(4 \cdot V_{15 \text{ max}})} = \frac{2498}{2512} = 0,994$$

3.6 -Previsione dei volumi giornalieri medi per i prossimi 5 anni

Prima di calcolare i volumi giornalieri medi per i prossimi 5 anni dobbiamo determinare i volumi giornalieri medi attuali, assumendo il volume orario V uguale al 10% del TGM trattandosi di strada urbana.

I volumi giornalieri medi sui singoli rami vengono calcolati nel seguente modo:

$$V_{1G} = \frac{4 \cdot V_{1-3} + 4 \cdot V_{1-2}}{0,10} = \frac{4 \cdot 163 + 4 \cdot 84}{0,10} = 9880$$

$$V_{2G} = \frac{4 \cdot V_{2-3} + 4 \cdot V_{2-1}}{0,10} = \frac{4 \cdot 66 + 4 \cdot 80}{0,10} = 5840$$

$$V_{3G} = \frac{4 \cdot V_{3-1} + 4 \cdot V_{3-2}}{0,10} = \frac{4 \cdot 192 + 4 \cdot 43}{0,10} = 9400$$

Considerando un tasso di incremento annuo del 10%, è possibile ricavare i volumi giornalieri medi degli anni 2009,2010,2011,2012,2013.

La relazione usata per ottenere tali volumi di traffico proiettati negli anni futuri è:

$$V = T \cdot (1 + i)^n$$

$$V_{1;2009} = 9880 \cdot (1+0,10)^1 = 10868$$

$$V_{2;2009} = 5840 \cdot (1+0,10)^1 = 6424$$

$$V_{3;2009} = 9400 \cdot (1+0,10)^1 = 10340$$

$$V_{1;2010} = 9880 \cdot (1+0,10)^2 = 11955$$

$$V_{2;2010} = 5840 \cdot (1+0,10)^2 = 7066$$

$$V_{3;2010} = 9400 \cdot (1+0,10)^2 = 11374$$

$$V_{1;2011} = 9880 \cdot (1+0,10)^3 = 13150$$

$$V_{2;2011} = 5840 \cdot (1+0,10)^3 = 7773$$

$$V_{3;2011} = 9400 \cdot (1+0,10)^3 = 12511$$

$$V_{1;2012} = 9880 \cdot (1+0,10)^4 = 14465$$

$$V_{2;2012} = 5840 \cdot (1+0,10)^4 = 8550$$

$$V_{3;2012} = 9400 \cdot (1+0,10)^4 = 13762$$

$$V_{1;2013} = 9880 \cdot (1+0,10)^5 = 15912$$

$$V_{2;2013} = 5840 \cdot (1+0,10)^5 = 9405$$

$$V_{3;2013} = 9400 \cdot (1+0,10)^5 = 15139$$

Capitolo 4

PROPOSTA D'INTERVENTO

Alla luce di quanto emerso durante il rilevamento dei dati, vista l'entità dei flussi e le caratteristiche geometriche della zona in oggetto, si cerca di migliorare la sicurezza e la fluidità della circolazione soprattutto nei periodi critici della giornata, modificando la configurazione attuale dell'intersezione e inserendo una rotatoria convenzionale.

4.1- Dimensionamento della rotatoria

La tipologia di intersezione da inserire nella zona d'intervento è una rotatoria convenzionale (secondo la classificazione del DM 19/04/2006) con un diametro interno di 32 metri, diametro esterno di 50 metri, larghezza dell'anello di 9 metri, banchina interna sormontabile di 1,50 metri, pendenza corsia dell'anello del 2% verso l'esterno e banchina interna transitabile con pendenza del 2,5% verso l'anello.

4.2- Calcolo della capacità

Tra le operazioni che accompagnano il progetto di una rotatoria si ha la valutazione della capacità. Questa valutazione può essere effettuata con diversi metodi di calcolo suggeriti dalle varie Normative e talvolta inglobati in specifici programmi di calcolo.

Nello studio della nostra intersezione per valutare la capacità si è utilizzata la procedura Francese del SETRA che è caratterizzata dallo studio dell'incidenza dei parametri geometrici e dello schema funzionale dell'intersezione a rotatoria per valutarne la sua capacità.

Il metodo SETRA fa intervenire nel calcolo della capacità, oltre al traffico che percorre l'anello in corrispondenza di un'immissione, anche il traffico che si allontana all'uscita immediatamente precedente, per cui definisce una relazione lineare fra la capacità e un *traffico complessivo di disturbo* Q_d , nel quale intervengono sia il flusso che percorre l'anello sia quello in uscita precedentemente definito.

La capacità dell'entrata secondo il metodo Francese è esprimibile mediante un legame funzionale del tipo:

$$C_e = f(\text{SEP}, \text{ENT}, \text{ANN}, Q_u, Q_c)$$

Dalle nozioni Francesi (figura 4.1) possiamo elencare i parametri che caratterizzano la capacità della rotonda sopra riportati:

- SEP : Larghezza dell'isola spartitraffico sul ramo;
- ENT : Larghezza dell'entrata misurata subito dietro al primo veicolo fermo davanti alla linea di “dare precedenza”;
- ANN : Larghezza dell'anello;
- Q_u : Flusso uscente;
- Q_c : Flusso circolante in corrispondenza dell'entrata.

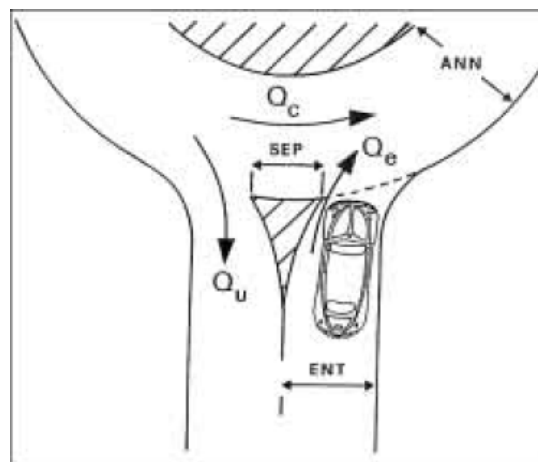


Figura 4.1. Definizione dei parametri geometrici dei flussi di traffico

Il procedimento del calcolo della capacità è così articolato:

- Si determina il traffico entrante Q_e , il traffico uscente Q_u e quello in circolazione sull'anello Q_c con l'ausilio della matrice origine destinazione;
- Si determina il traffico uscente equivalente Q_u^* in funzione di Q_u e della larghezza dell'isola spartitraffico SEP:

$$Q_u^* = \frac{Q_u \cdot (15 - SEP)}{15} \quad \text{se } SEP \leq 15 \text{ m}$$
$$Q_u^* = 0 \quad \text{se } SEP > 15 \text{ m}$$

- Si determina il flusso complessivo di disturbo Q_d in funzione di Q_c , di Q_u^* e della larghezza dell'anello ANN:

$$Q_d = \left(Q_e + \frac{2}{3} \cdot Q_u^* \right) \cdot [1 - 0,085 \cdot (ANN - 8)]$$

- Si introduce la larghezza d'entrata ENT per determinare la capacità C:

$$C = (1330 - 0,7 \cdot Q_d) \cdot [1 + 0,1 \cdot (ENT - 3,5)]$$

Attraverso gli abachi qui riportati (Fig. 4.2 – Fig. 4.3) è possibile ottenere una prima valutazione dei tempi di attesa e del 99^{mo} percentile della lunghezza di coda in funzione di Q_d e di Q_e^I .

Con Q_e^I si indica il traffico entrante equivalente riferito ad un ingresso di 3,5 metri e dato dall'espressione:

$$Q_e^I = \frac{Q_e}{1 + 0,1 \cdot (ENT - 3,5)}$$

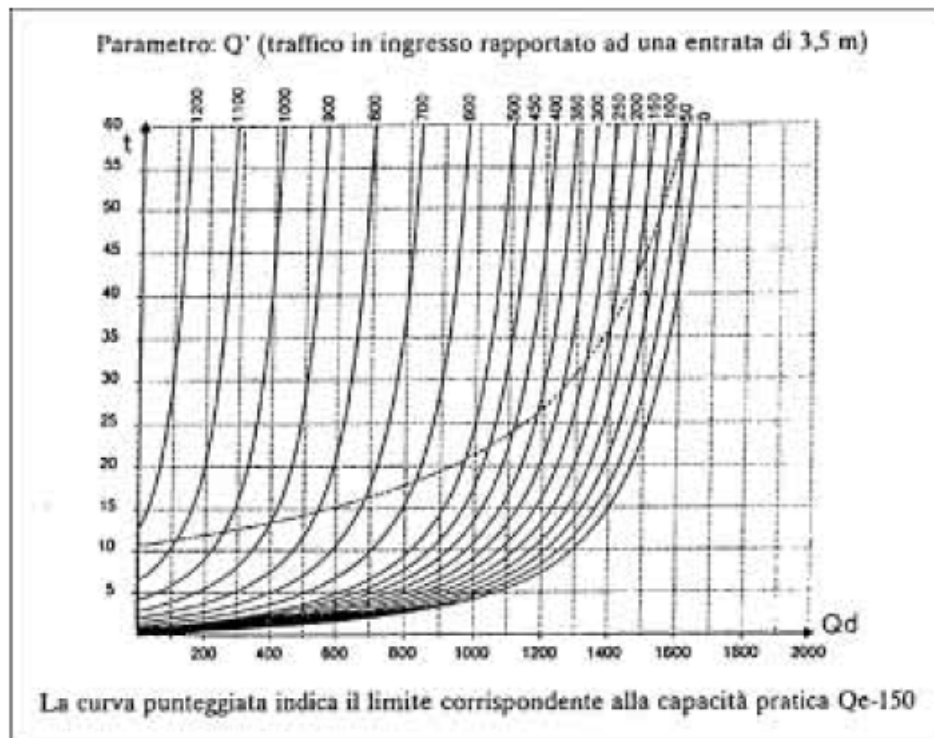


Figura 4.2. Tempi medi di attesa in ingresso in rotatoria (in sec)

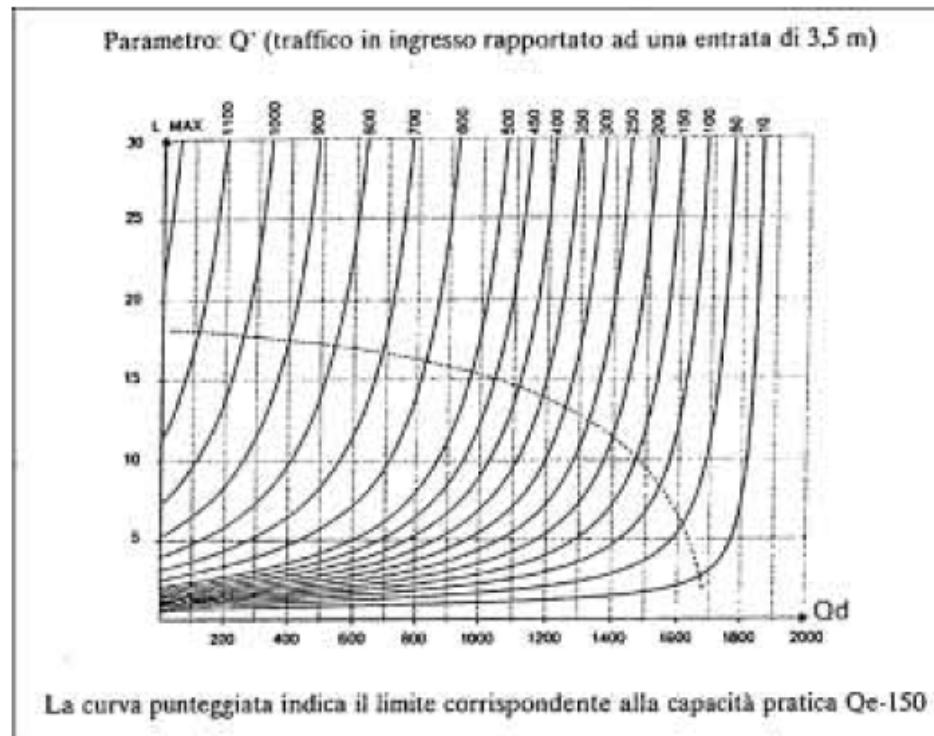


Figura 4.3. 99^{mo} percentile del numero di veicoli in attesa su un ingresso della rotatoria

Viste le incertezze connesse al funzionamento instabile del sistema, quando i flussi entranti sono prossimi ai valori di capacità, anziché utilizzare la C , si ritiene opportuno calcolare la capacità pratica C_p .

$$C_p = C - 150 \quad \text{oppure} \quad C_p = 0,8 C$$

Per flussi di traffico in ingresso superiori a C_p non è assicurato un funzionamento stazionario dell'incrocio.

Una misura della distanza tra flussi entranti e capacità pratica è la capacità di riserva percentuale per ciascun ingresso.

$$RC = \frac{C - Q_e}{C} \cdot 100$$

Calcolo della Capacità

Le caratteristiche geometriche della rotatoria oggetto di studio sono:

$$ANN = 9 \text{ m}$$

$$SEP_1 = 8,46 \text{ m}$$

$$SEP_2 = 8,28 \text{ m}$$

$$SEP_3 = 6,50 \text{ m}$$

$$SEP_4 = 8,77 \text{ m}$$

$$ENT_1 = 6,00 \text{ m}$$

$$ENT_2 = 6,50 \text{ m}$$

$$ENT_3 = 3,50 \text{ m}$$

$$ENT_4 = 4,00 \text{ m}$$

Dai dati sul traffico riportati nel capitolo tre possiamo determinare il quarto d'ora più critico per ogni manovra e determinare di conseguenza

la portata di progetto o intensità di traffico (V_{\max}) definita moltiplicando per quattro i 15 minuti più critici all'interno dell'ora:

$$V_{\max} = 4 \cdot V_{15 \max}$$

Manovra 1-3 :

I 15 minuti più critici si hanno dalle 7:30 alle 7:45 con 163 veicoli che da Carrara proseguono verso Marina di Carrara.

La portata di progetto per la manovra 1-3 è : $V_{\max} = 163 \cdot 4 = 652$ veic/h

Manovra 1-2 :

I 15 minuti più critici si hanno dalle 8:00 alle 8:15 con 90 veicoli che da Carrara entrano in Autostrada.

La portata di progetto per la manovra 1-2 è : $V_{\max} = 90 \cdot 4 = 360$ veic/h

Manovra 2-1 :

I 15 minuti più critici si hanno dalle 17:15 alle 17:30 con 80 veicoli che dal casello autostradale svoltano verso Carrara.

La portata di progetto per la manovra 2-1 è : $V_{\max} = 80 \cdot 4 = 320$ veic/h

Manovra 2-3 :

I 15 minuti più critici si hanno dalle 8:30 alle 8:45 con 69 veicoli che dal casello autostradale svoltano verso Marina di Carrara.

La portata di progetto per la manovra 2-3 è : $V_{\max} = 69 \cdot 4 = 276$ veic/h

Manovra 3-1 :

I 15 minuti più critici si hanno dalle 18:15 alle 18:30 con 194 veicoli che da Marina di Carrara proseguono dritte verso Carrara.

La portata di progetto per la manovra 3-1 è : $V_{\max} = 194 \cdot 4 = 776$ veic/h

Manovra 3-2 :

I 15 minuti più critici si hanno il martedì mattina dalle 8:45 alle 9:00 con 54 veicoli che da Marina di Carrara entrano in Autostrada.

La portata di progetto per la manovra 3-2 è : $V_{\max} = 54 \cdot 4 = 216$ veic/h

Andiamo a riportare di seguito i diagrammi di flusso della futura rotatoria (Fig. 4.4) e la matrice origine destinazione (Tab. 4.1).

Ora di massimo traffico:				
O/D	Sez.1	Sez.2	Sez.3	Totale
Sez.1	----	360	650	1010
Sez.2	320	----	276	596
Sez.3	776	216	----	992
Totale	1096	576	926	2598

Tab 4.1. Matrice Origine Destinazione (O/D)

Andiamo adesso a determinare la Capacità su ogni ramo:

Ramo 1:

I parametri che ci occorrono per determinare la capacità sono:

$$SEP = 8,46 \text{ m}$$

$$Q_e = \text{flusso in entrata} = 1010 \text{ veic/h}$$

$$Q_u = \text{flusso in uscita} = 320 + (776 \cdot 5\%) = 358,8 = 359 \text{ veic/h}$$

$$ANN = 9 \text{ m}$$

$$ENT = 6 \text{ m}$$

$$Q_c = \text{flusso che percorre l'anello all'altezza dell'immissione} = 216 \text{ veic/h}$$

Si determini con la formula già vista precedentemente il traffico uscente equivalente Q_u^* :

$$Q_u^* = \frac{Q_u \cdot (15 - SEP)}{15} = \frac{359 \cdot (15 - 8,46)}{15} = 157 \text{ veic/h}$$

Determiniamo il traffico complessivo di disturbo Q_d :

$$Q_d = \left(Q_c + \frac{2}{3} \cdot Q_u^* \right) \cdot [1 - 0,085 \cdot (ANN - 8)] = 293 \text{ veic/h}$$

Calcolo la capacità C del ramo d'entrata 1 dalla seguente equazione:

$$C = (1330 - 0,7 \cdot Q_d) \cdot [1 + 0,1 \cdot (ENT - 3,5)] = 1406 \text{ veic/h}$$

Infine si determina la riserva di capacità RC percentuale del nostro ramo:

$$RC = \frac{C - Q_e}{Q_e} \cdot 100 = 39\%$$

Essendo la nostra riserva di capacità RC maggiore del 30%, il ramo 1 ha una condizione di servizio fluida.

Viste le incertezze connesse al funzionamento instabile del sistema, quando i flussi entranti sono prossimi ai valori di capacità, anziché utilizzare la C , si ritiene opportuno calcolare la capacità pratica C_p .

$$C_p = C - 150 \quad \text{oppure} \quad C_p = 0,8 C$$

$$C_p = 1406 - 150 = 1256 \text{ veic/h}$$

La riserva di capacità utilizzando la capacità pratica è:

$$RC = \frac{(C_p - Q_e)}{Q_e} \cdot 100 = 24\%$$

Utilizzando la capacità pratica, la condizione di servizio del ramo 1 passa da fluido a soddisfacente.

Ramo 2 :

I parametri che ci occorrono per determinare la capacità sono:

$$SEP = 8,28 \text{ m}$$

$$Q_e = \text{flusso in entrata} = 596 \text{ veic/h}$$

$$Q_u = \text{flusso in uscita} = 576 \text{ veic/h}$$

$$ANN = 9 \text{ m}$$

$$ENT = 6,50 \text{ m}$$

$$Q_c = \text{flusso che percorre l'anello all'altezza dell'immissione} = 650 + 20 = 670 \text{ veic/h}$$

Andiamo a determinare con la formula già vista precedentemente il traffico uscente equivalente Q_u^* :

$$Q_u^* = \frac{Q_u \cdot (15 - SEP)}{15} = \frac{576 \cdot (15 - 8,28)}{15} = 258 \text{ veic/h}$$

Determiniamo il traffico complessivo di disturbo Q_d :

$$Q_d = \left(Q_c + \frac{2}{3} \cdot Q_u^* \right) \cdot [1 - 0,085 \cdot (ANN - 8)] = 770 \text{ veic/h}$$

Calcolo la capacità C del ramo d'entrata 1 dalla seguente equazione:

$$C = (1330 - 0,7 \cdot Q_d) \cdot [1 + 0,1 \cdot (ENT - 3,5)] = 1030 \text{ veic/h}$$

Infine si determina la riserva di capacità RC percentuale del nostro ramo:

$$RC = \frac{C - Q_e}{Q_e} \cdot 100 = 73\%$$

Essendo la nostra riserva di capacità RC maggiore del 30% , il ramo 2 ha una condizione di servizio fluida.

Viste le incertezze connesse al funzionamento instabile del sistema, quando i flussi entranti sono prossimi ai valori di capacità, anziché utilizzare la C, si ritiene opportuno calcolare la capacità pratica C_p .

$$C_p = C - 150 \quad \text{oppure} \quad C_p = 0,8 C$$

$$C_p = 1030 - 150 = 880 \text{ veic/h}$$

La riserva di capacità utilizzando la capacità pratica è:

$$RC = \frac{(C_p - Q_e)}{Q_e} \cdot 100 = 47\%$$

Utilizzando la capacità pratica, la condizione di servizio del ramo 2 rimana fluida.

Ramo 3 :

Il ramo 3 rappresenta la nuova rampa di accesso al Marble Hotel, avendo questo un flusso di traffico molto basso non viene considerata nel calcolo della capacità e della lunghezza delle code.

Ramo 4:

I parametri che ci occorrono per determinare la capacità sono:

$$SEP = 8,77 \text{ m}$$

$$Q_e = \text{flusso in entrata} = 216 \text{ veic/h}$$

Q_u = flusso in uscita = 926 veic/h

ANN = 9 m

ENT = 4 m

Q_c = flusso che percorre l'anello all'altezza dell'immissione = 320+20 = 340 veic/h

Andiamo a determinare con la formula già vista precedentemente il traffico uscente equivalente Q_u^* :

$$Q_u^* = \frac{Q_u \cdot (15 - SEP)}{15} = \frac{926 \cdot (15 - 8,77)}{15} = 384 \text{ veic/h}$$

Determiniamo il traffico complessivo di disturbo Q_d :

$$Q_d = \left(Q_c + \frac{2}{3} \cdot Q_u^* \right) \cdot [1 - 0,085 \cdot (ANN - 8)] = 545 \text{ veic/h}$$

Calcolo la capacità C del ramo d'entrata 1 dalla seguente equazione:

$$C = (1330 - 0,7 \cdot Q_d) \cdot [1 + 0,1 \cdot (ENT - 3,5)] = 996 \text{ veic/h}$$

Infine si determina la riserva di capacità RC percentuale del nostro ramo:

$$RC = \frac{C - Q_e}{Q_e} \cdot 100 \Rightarrow 100\%$$

Essendo la nostra riserva di capacità RC maggiore del 100%, il ramo 3 ha una condizione di servizio fluida.

Viste le incertezze connesse al funzionamento instabile del sistema, quando i flussi entranti sono prossimi ai valori di capacità, anziché utilizzare la C, si ritiene opportuno calcolare la capacità pratica C_p .

$$C_p = C - 150 \quad \text{oppure} \quad C_p = 0,8 C$$

$$C_p = 996 - 150 = 846 \text{ veic/h}$$

La riserva di capacità utilizzando la capacità pratica è:

$$RC = \frac{(C_p - Q_e)}{Q_e} \cdot 100 \Rightarrow 100\%$$

Utilizzando la capacità pratica, la condizione di servizio del ramo 3 rimane fluida.

Una volta determinata la capacità C per ogni singolo ramo d'entrata in funzione del traffico di disturbo, possiamo determinare i due indici prestazionali per la rotatoria nel suo insieme. Tali indici sono : la capacità semplice e la capacità totale.

Capacità semplice:

La *Capacità semplice* individua, per un dato scenario di ripartizione dei flussi di traffico, quel valore di flusso massimo che si può avere in entrata da ciascun ramo al momento che per uno di questi si ha l'inizio della congestione.

Per determinare la capacità semplice dobbiamo calcolare il coefficiente di moltiplicazione $\bar{\delta}$ che porta per primo un'entrata in congestione. Esso è il minore tra i moltiplicatori δ_i trovati per ogni singola entrata.

$$\delta_i = \frac{C_i}{Q_{e i}} \geq 1$$

$$\delta_1 = \frac{c_1}{Q_{e1}} = \frac{1406}{1010} = 1,39 > 1 \rightarrow \text{il ramo 1 è verificato}$$

$$\delta_2 = \frac{c_2}{Q_{e2}} = \frac{1030}{596} = 1,73 > 1 \rightarrow \text{il ramo 2 è verificato}$$

$$\delta_4 = \frac{c_4}{Q_{e4}} = \frac{996}{216} = 4,6 > 1 \rightarrow \text{il ramo 3 è verificato}$$

Sia $\bar{\delta} = \delta_1$ il minor moltiplicatore trovato, allora l'entrata 1 è la prima entrata a raggiungere la congestione, nell'ipotesi che i flussi entranti aumentino uniformemente di $\bar{\delta}$ volte e la capacità semplice della rotatoria vale :

$$C_s = \bar{\delta} \cdot Q_{e1} = 1404 \text{ uvp/h}$$

Capacità totale:

La *Capacità totale* della rotatoria rappresenta, per una data matrice di distribuzione dei flussi di traffico, una misura sintetica dell'attitudine limite della rotatoria a smaltire il traffico quando ad ognuno dei suoi rami sono presenti code.

$$C_T = \sum C_i = 3432 \text{ uvp/h}$$

La capacità totale deve risultare maggiore della sommatoria dei flussi di traffico in entrata:

$$C_T \geq \sum Q_{ei} = 1822 \text{ uvp/h}$$

4.3- Lunghezza delle code e tempi d'attesa

Le caratteristiche di livello di servizio a cui si fa riferimento nel progetto delle rotonde sono quelle stesse che vengono considerate nello studio di una qualsiasi intersezione a raso: il tempo medio di attesa dei veicoli alle immissioni ed un adeguato percentile della lunghezza della coda.

La valutazione di questi due parametri nell'intersezione oggetto di studio viene effettuata con il metodo SETRA che, utilizzando un modello basato sull'intervallo critico, ha costruito dei diagrammi (Fig. 4.2 e Fig.4.3) nei quali sono riportati rispettivamente i tempi medi d'attesa ed il 99° percentile del numero di veicoli in attesa su un ingresso della rotonda in funzione del traffico di disturbo Q_d sull'anello e del flusso entrante equivalente Q_e^* . Questi diagrammi consentono in modo semplice e veloce di fornire una valutazione sufficientemente approssimata delle caratteristiche di livello di servizio di una rotonda.

Per definire il livello di servizio possiamo fare riferimento alle indicazioni fornite dall'HCM 2000 relative alle intersezioni non semaforizzate. La classificazione presente nell'HCM è fatta in base al tempo medio di attesa ed è riportata in tabella 4.2.

Livello di servizio	Ritardo medio (sec/veicolo)
A	0 ÷ 10
B	10 ÷ 15
C	15 ÷ 25
D	25 ÷ 35
E	35 ÷ 50
F	>50

Tab. 4.2. Livello di servizio per l'intersezione non semaforizzata secondo l'HCM 2000

Calcoliamo per ogni ramo il flusso in entrata equivalente e riportiamo successivamente in tabella 4.3 i valori L del numero massimo di veicoli in coda che non viene superato nel 99% dei casi e il parametro E che indica i tempi medi di attesa in entrata in rotatoria.

$$Q_e^I = \frac{Q_e}{1 + 0,1 \cdot (ENT - 3,5)}$$

Ramo	Q_e^I (uvp/h)	Q_d (uvp/h)	E (sec)	L (veicoli per ramo)
1	808	293	5	3
2	459	770	7	6
4	205	545	2	2

Tab. 4.3.

Dalla tabella 4.2 dell'HCM 2000, possiamo determinare il livello di servizio di ogni singolo ramo in funzione del numero di veicoli in coda.

Ramo	E	Livello di Servizio
1	5 sec	A
2	7 sec	A
4	2 sec	A

Tab. 4.4. Livelli di servizio per ogni ramo dell'intersezione oggetto di studio

Dopo aver determinato il livello di servizio su ogni ramo, è stato calcolato il livello di servizio dell'intersezione nel suo insieme mediante la seguente relazione:

$$E[t]_{Intersez.} = \frac{\sum E[t]_i \cdot Q_{e i}}{\sum Q_{e i}} = 5,3 \text{ sec}$$

Il livello di servizio totale dell'intersezione è di tipo A, con un tempo medio di attesa di 5,3 secondi.

4.4- Verifica delle deflessioni angolari

La regola principale per il disegno progettuale della rotatoria riguarda il controllo della deflessione delle traiettorie in attraversamento del nodo, ed in particolare le traiettorie che interessano due rami opposti o adiacenti rispetto all'isola centrale.

Essendo lo scopo primario della rotatoria un assoluto controllo della velocità all'interno dell'incrocio, risulta essenziale che la geometria complessiva impedisca valori cinematici superiori ai limiti usualmente assunti a base di progetto e cioè di velocità massime di 40÷50km/h per le manovre più dirette.

Per *deflessione* si intende archi che formano una traiettoria ideale che passa ad 1,50 metri dal bordo dell'isola centrale e a 2,00 metri dal ciglio dei canali d'ingresso e d'uscita.

Tali archi devono avere un raggio minore di 80÷100 m (Figura 4.4)

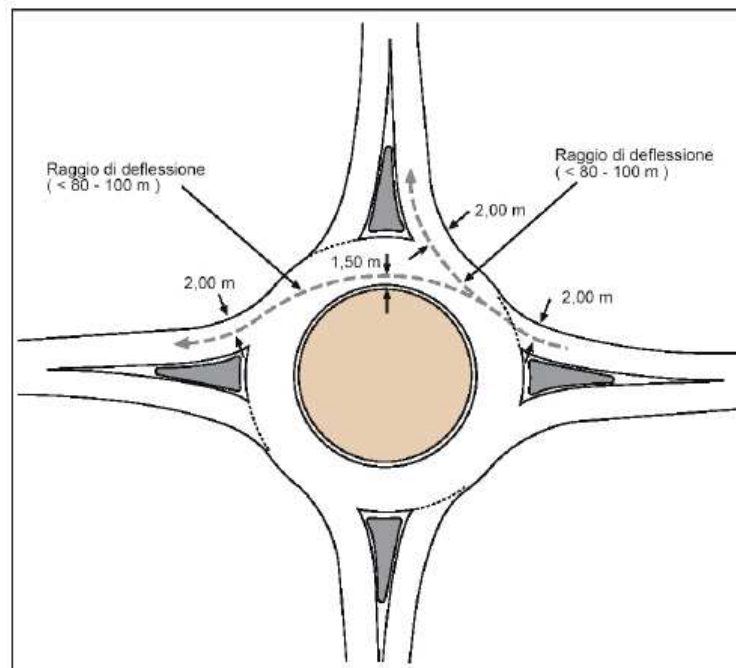


Fig. 4.4. Schema deflessione delle traiettorie

Per la nostra intersezione a rotatoria otteniamo i seguenti raggi di deflessione:

$$R_{\text{manovra 1-2}} = 80,64 \text{ m}$$

$$R_{\text{manovra 1-3}} = 33,95 \text{ m}$$

$$R_{\text{manovra 2-3}} = 14,12 \text{ m}$$

$$R_{\text{manovra 2-4}} = 99,17 \text{ m}$$

$$R_{\text{manovra 3-4}} = 37,04 \text{ m}$$

$$R_{\text{manovra 3-1}} = 28,57 \text{ m}$$

$$R_{\text{manovra 4-2}} = 24,14 \text{ m}$$

Riportiamo in Figura 4.5 la risoluzione grafica della verifica

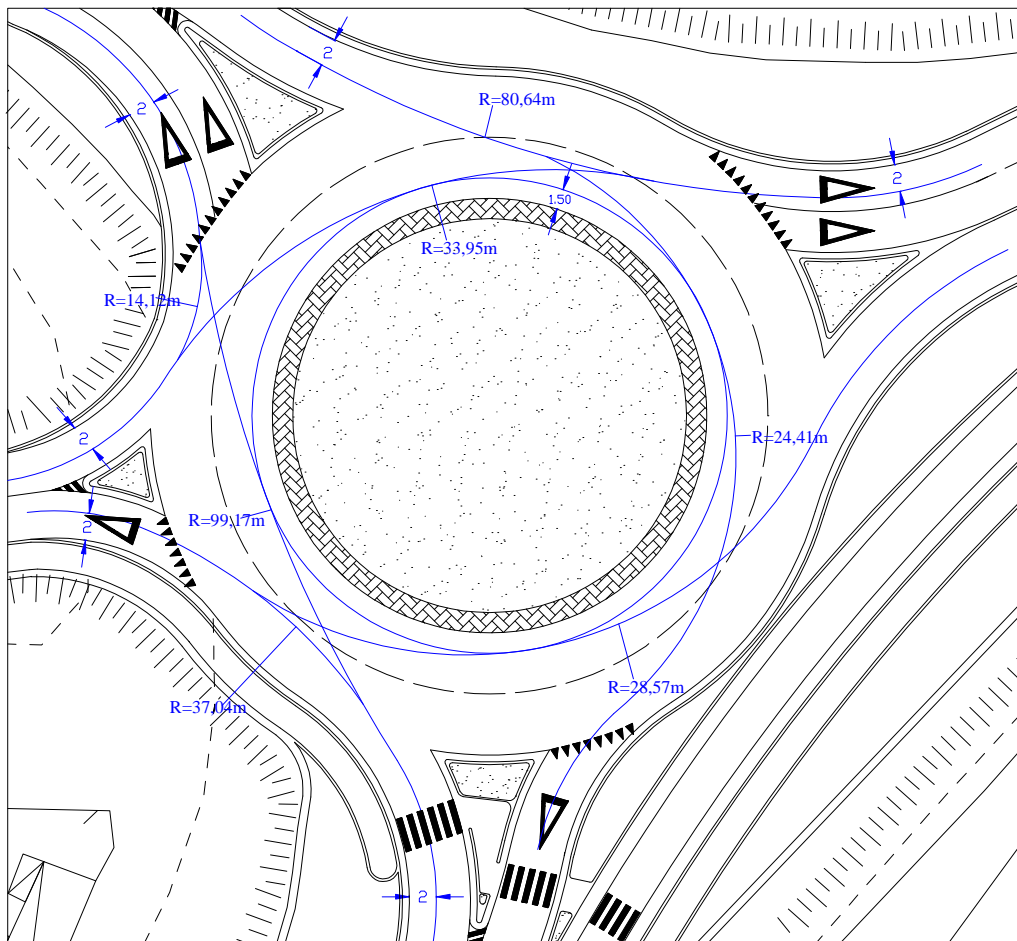


Fig. 4.4. Deflessione delle traiettorie

4.5- Verifica della visibilità

L'esistenza di opportune visuali libere costituisce una primaria e inderogabile condizione di sicurezza della circolazione, in particolare nelle zone di intersezione, dove si concentra il maggior numero di punti di conflitto.

Per *distanza di visuale libera* si intende “la lunghezza del tratto di strada” che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada.

Nel progetto e nello studio della nuova intersezione a rotatoria sul Viale Galileo Galilei sono state garantite le seguenti visuali libere:

- 1. Distanza di visibilità per l'arresto da garantire su ogni ramo d'ingresso in rotatoria.***

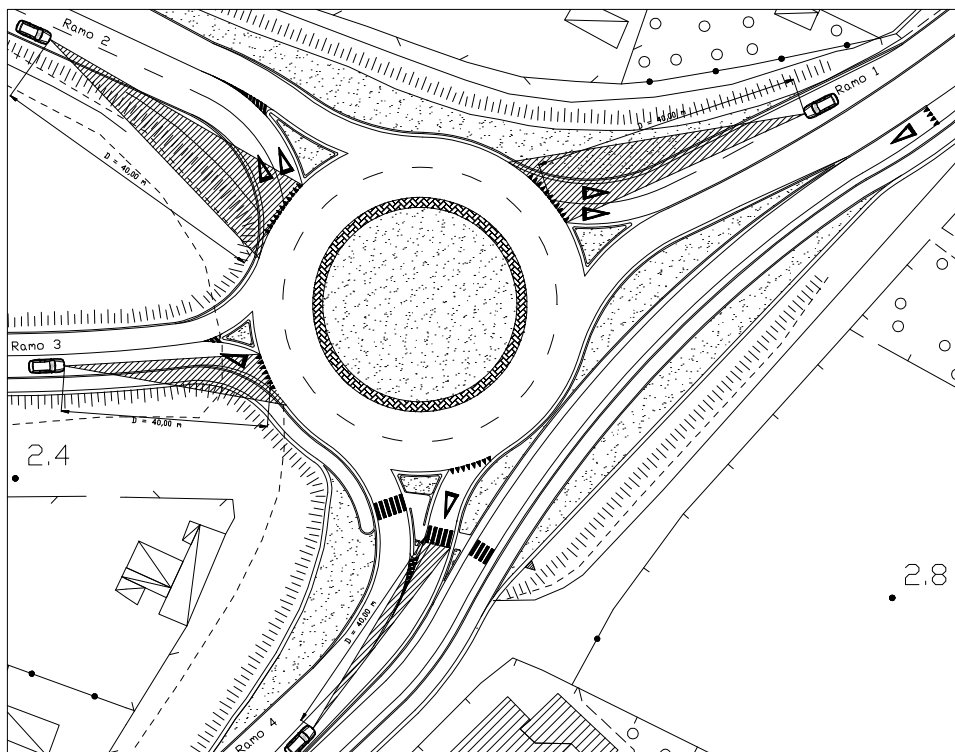


Fig. 4.5. Visibilità per l'arresto da garantire per ogni ramo

Tale verifica serve per garantire un adeguato spazio, libero da qualunque impedimento visivo, tra il veicolo in approccio all'intersezione e la linea del "dare precedenza" o dell'attraversamento pedonale, per consentire l'arresto del veicolo (Figura 4.5). Tale spazio, definito come *distanza di visibilità per l'arresto*, è formato dal contributo di due termini: uno legato al tempo di reazione psico-tecnico del guidatore e l'altro allo spazio di frenatura del veicolo; entrambi i termini dipendono dalla velocità di avvicinamento del veicolo.

Siccome nel ramo 4 prima della linea di dare precedenza è presente un attraversamento pedonale, la distanza di visibilità va calcolata con riferimento a quest'ultimo come è riportato in figura 4.5.

Nella tabella 4.5 vengono riportate le distanze di visibilità per l'arresto in funzione della velocità di approccio.

Velocità (km/h)	Distanza di arresto (m)		
	Pendenza longitudinale "i"		
	-5.0 %	0 %	+5.0 %
25	24	23	23
30	31	30	29
40	43	41	39
50	58	55	52
60	76	71	67
70	97	90	84
80	122	111	103
90	151	136	125

Tab. 4.5. Distanza d'arresto

2. *Visibilità dell'intersezione.*

Oltre a garantire la visibilità per l'arresto del veicolo prima della linea del "dare precedenza" o dell'attraversamento pedonale, come nel ramo quattro, è importante che gli utenti, che stanno giungendo in rotatoria, riescano a percepire i veicoli con precedenza all'interno della corona in tempo per modificare la propria velocità e quindi cedere il passaggio o eventualmente immettersi nell'anello.

Il punto di osservazione si pone ad una distanza di 20 metri dalla linea di arresto coincidente con il bordo della circonferenza esterna. Essendo la nostra intersezione a 4 bracci, la zona di cui è necessaria la visibilità completa corrisponde al quarto di corona giratoria posta a sinistra del canale di accesso considerato.

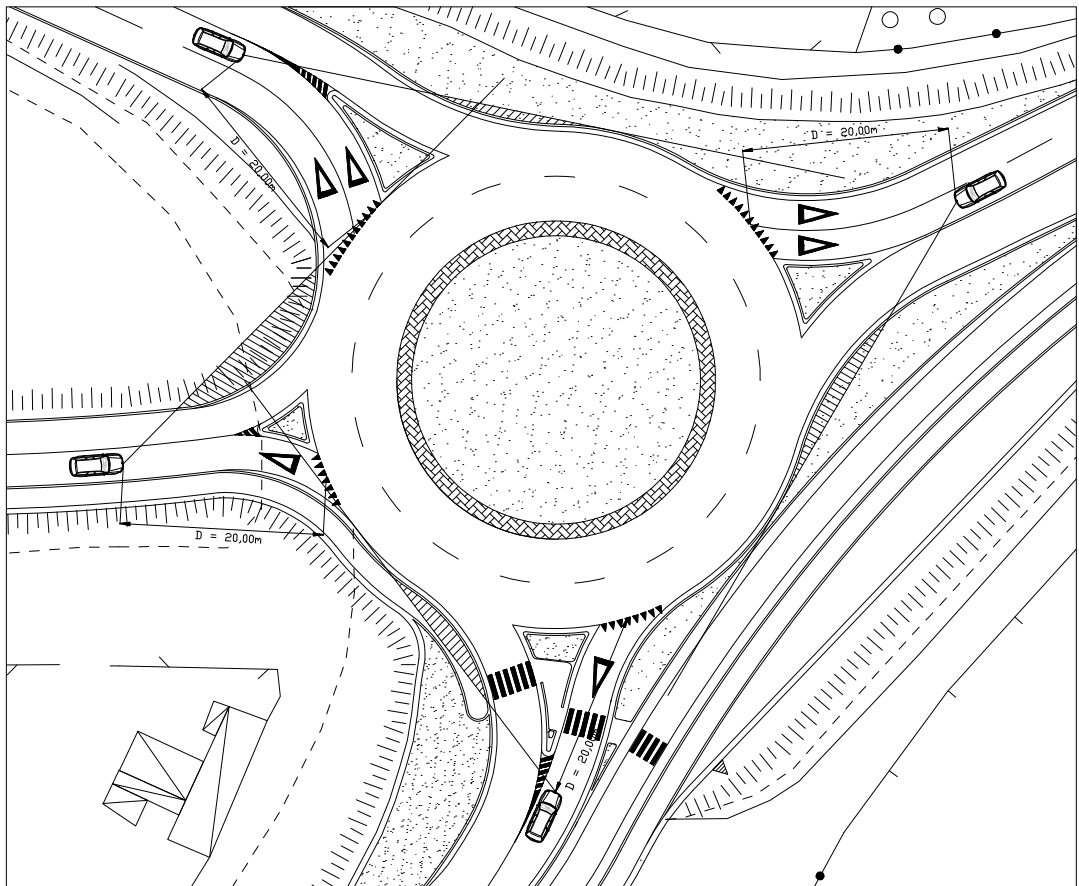


Fig. 4.6. Visibilità dell'intersezione

3. Visibilità di un attraversamento pedonale da parte di un veicolo in uscita.

Il ramo 4 della nostra intersezione, essendo interessato da un attraversamento pedonale, necessita di verificare che questi siano visibili dai veicoli circolanti nell'anello.

Nel calcolo della distanza di visibilità per l'arresto si utilizza ancora la tabella 4.5. dove vengono riportate le distanze di arreso in funzione della velocità di approccio.

Il risultato di tale verifica è riportato in figura 4.7.

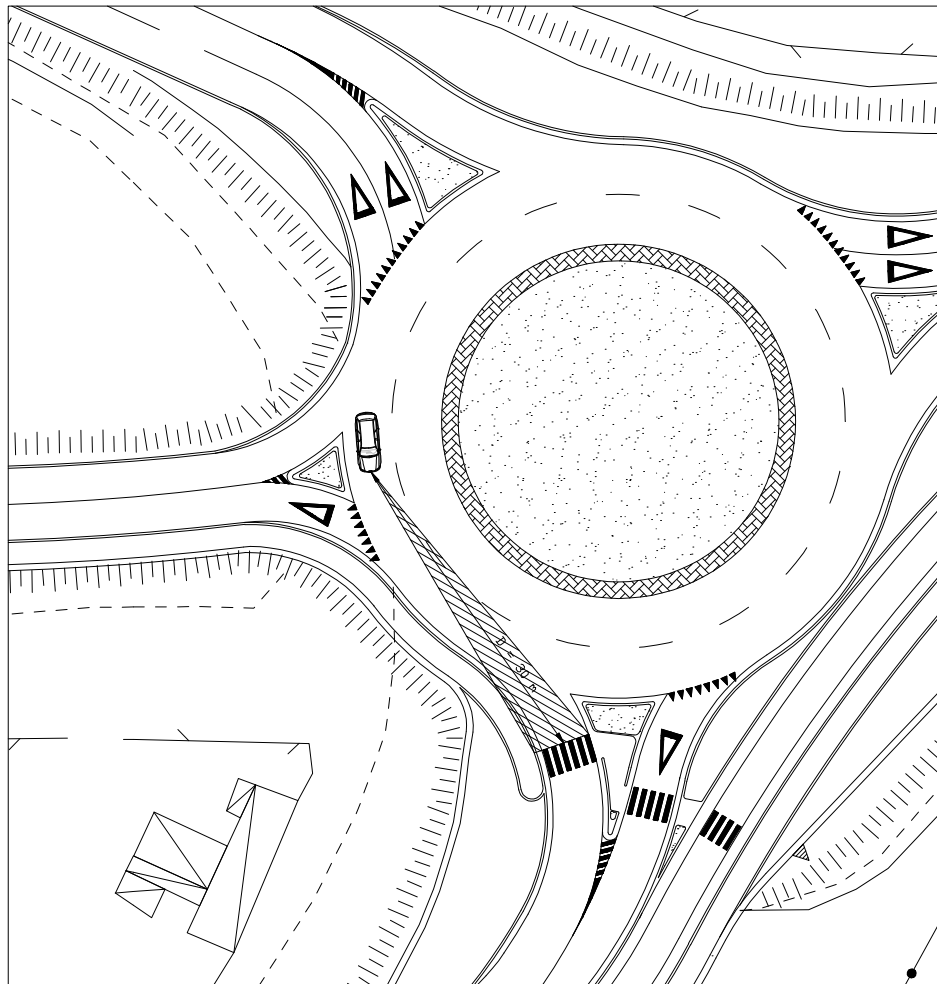


Fig. 4.7. Visibilità dell'attraversamento pedonale da parte di un veicolo in uscita

4. *Visibilità nella circolazione lungo l'anello*

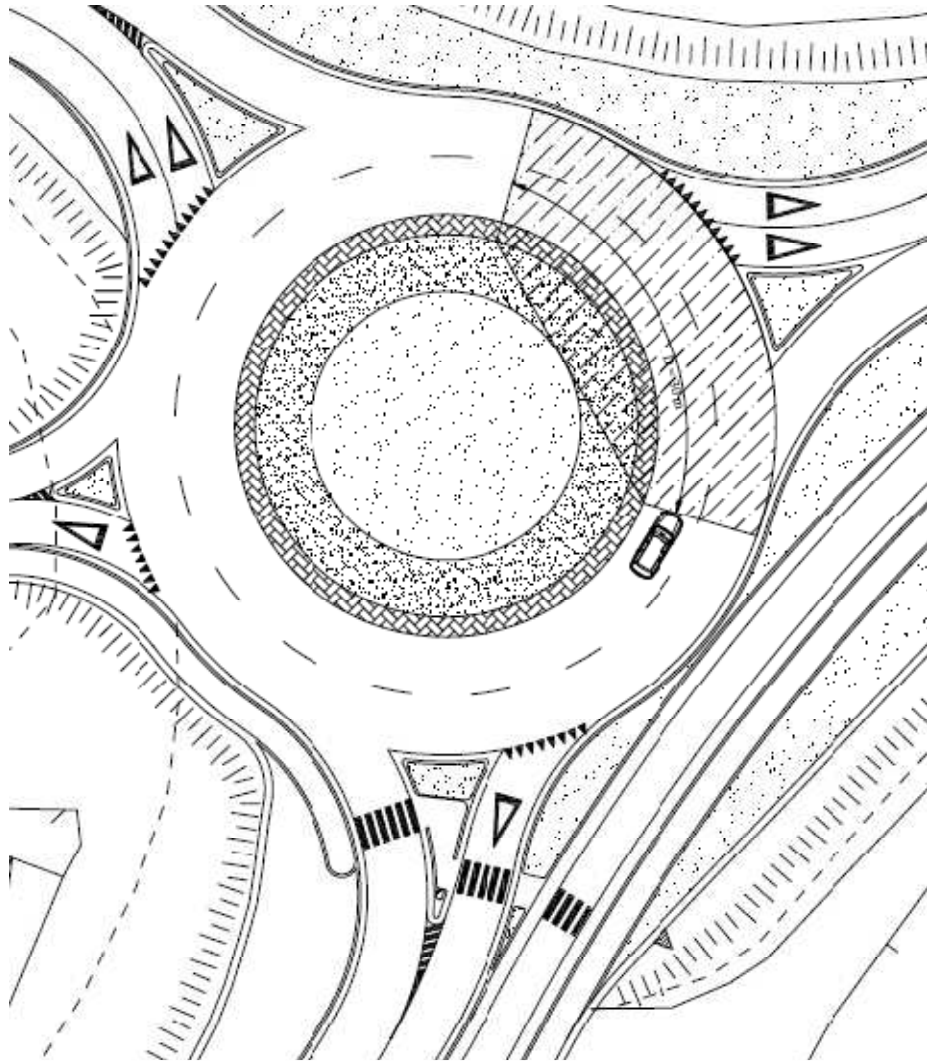


Fig. 4.8. Visibilità nella circolazione lungo l'anello

Un'ulteriore visuale libera da garantire è quella relativa ai veicoli che percorrono la rotatoria; essa si riferisce sia alla distanza di arresto per la presenza di oggetti o altri veicoli presenti nell'anello, sia alla distanza di visibilità per prevedere l'ingresso di altri veicoli (figura 4.8).

La posizione planimetrica del veicolo è posto a 2 metri dal bordo interno dell'isola. La quota del punto di vista è a 1,10 metri e l'oggetto da

rilevare a una quota di 0,10 metri poiché, in questo caso, è necessario rilevare qualsiasi ostacolo presente sull'anello.

Per valutare la distanza di visibilità si è fatto riferimento alla tabella 4.6. che fornisce le velocità in funzione del raggio della curvatura (R), della pendenza trasversale (q) e della quota parte del coefficiente di aderenza trasversale (f_t).

I valori del coefficiente di aderenza trasversale f_t sono stati ricavati dalla tabella contenuta nel D.M.. 5 novembre 2001.

Velocità (km/h)	Raggio della curva (m)			Coefficiente di aderenza (f_t)
	Pendenza trasversale			
	-2.0 %	0 %	+2.0 %	
15	8	8	7	0.23
20	15	14	13	0.23
25	25	22	21	0.22
30	35	32	30	0.22
40	66	60	55	0.21
50	109	98	89	0.20
60	157	142	129	0.20

Tab. 4.6. Relazione tra velocità di progetto e raggio della curvatura

CONCLUSIONI

Le nuove metodologie di progettazione delle intersezioni stradali hanno portato, in questi ultimi anni, allo studio di nuove soluzioni che esprimono la necessità di risolvere le diverse problematiche riguardanti specialmente il rapporto sicurezza/prestazione.

La scelta di una rotatoria a quattro rami in alternativa all'attuale intersezione a T, oltre a consentire l'accesso alla viabilità urbana del Marble Hotel, permette di ottenere l'eliminazione dei problemi legati alla sicurezza della vecchia intersezione e al traffico veicolare.

Gli esiti positivi riscontrati in termini di circolazione, individuati dal calcolo della capacità, dimostrano un notevole miglioramento del livello di servizio della nuova rotatoria rispetto all'attuale intersezione a T.

Infatti, vengono ridotti fortemente i tempi di attesa per i veicoli che, in uscita dal casello autostradale, svoltano a sinistra verso la SS n° 1 Aurelia. Questi ultimi formavano lunghe code con difficoltà di circolazione anche per gli utenti che svoltavano a destra verso Marina di Carrara. Tale congestione è stata completamente ridotta a 7 secondi di attesa per tutto il ramo in uscita dal casello con una lunghezza massima della coda di 6 veicoli.

Un'altra criticità dell'intersezione attuale riguarda i veicoli che provengono da Marina di Carrara e impegnano la corsia di accumulo per svoltare a sinistra in autostrada.

Infatti, nelle ore di punta i veicoli occupanti questa corsia hanno un tempo di attesa di circa 11 secondi e vengono ridotti a 2 con la nuova rotatoria, passando da un Livello di Servizio B ad un Livello di Servizio A.

Il ramo 1 (direzione Carrara - Marina di Carrara sul Viale Galilei), che nell'attuale intersezione ha diritto di precedenza, ha un Livello di Servizio A con un tempo di attesa medio di 5 secondi.

Il Livello di Servizio globale della nuova rotatoria è A, con un tempo medio di attesa di 5,3 secondi, mentre nell'attuale intersezione è F, a causa delle lunghe code che si formano in uscita dall'autostrada. Tale risultato è stato ottenuto per le grandi dimensioni della nuova rotatoria e soprattutto per l'inserimento di un ramo di bypass che consente agli utenti provenienti da Marina di Carrara e diretti verso la SS n° 1 Aurelia di non entrare in rotatoria.

Oltre ai grandi vantaggi sopra riportati dal punto di vista del traffico, bisogna evidenziare anche l'aumento della sicurezza che, non solo è dovuto alla riduzione dei punti di conflitto, ma anche alla diminuzione delle velocità e alla limitazione delle manovre pericolose quali le inversioni di marcia.

La rotatoria, infatti, viene considerata come la miglior soluzione a fornire comportamenti positivi di autoregolamentazione nei guidatori.

Per questi motivi sopra riportati si ritiene corretta la soluzione progettuale adottata.

Riferimenti bibliografici

Canale S. e Salvatore L., (2005), *Nuovi criteri di progetto e di verifica per le rotatorie stradali extraurbane*, Università degli studi di Catania.

Esposito T. e Mauro R., (2003), *Fondamenti di infrastrutture viarie Vol. 1: La geometria stradale*, Hevelius, Benevento.

Esposito T. e Mauro R., (2003), *Fondamenti di infrastrutture viarie Vol. 2: La progettazione funzionale delle strade*, Hevelius, Benevento.

Furlan G. B., Galasso G. e Zanon R., (2005), *Linee guida per la progettazione e la verifica delle intersezioni a rotatorie*, Assessorato alla viabilità, Padova.

Highway Capacity Manual HCM 2000, (2000) T.R.B., Washington D.C.

Marrani G., (2005), *Piano Quinquennale per il miglioramento della sicurezza stradale nel territorio del Comune di Carrara*, U.O. "Viabilità, Traffico, Trasporti e Mobilità", Carrara

M.E.E.T srl, (2003), *Piano Generale del Traffico Urbano (PGTU)*, Comune di Carrara

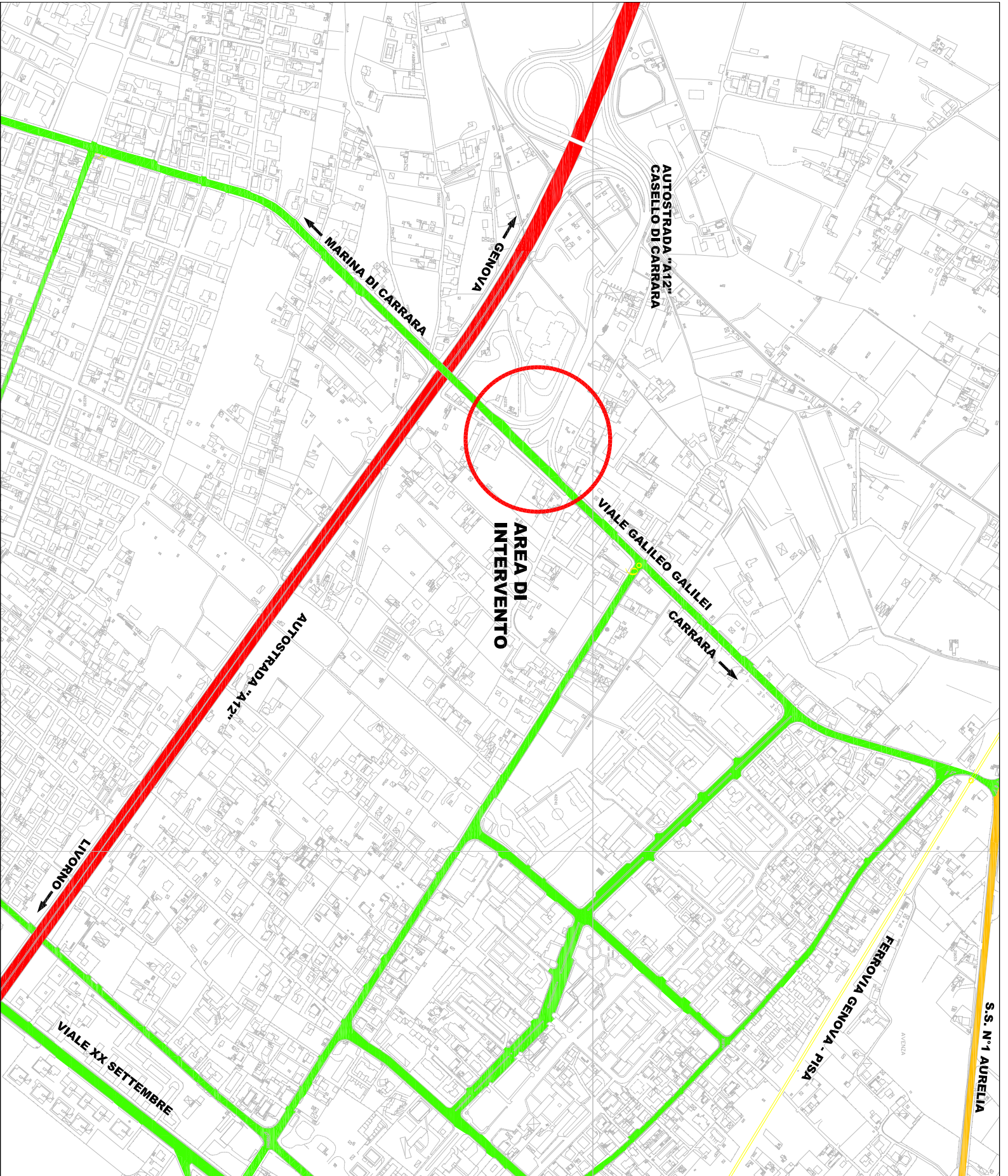
Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, (2006), *D.M. 19/04/2006: Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali*.

Pratelli A., (2000), *Progettazione delle intersezioni a rotatoria*, Pisa, Tipografia Editrice Pisana.

Pratelli A., (2004), *Rotatorie di nuova generazione*, Pisa, Tipografia Editrice Pisana.

Regione Piemonte, (2006), *Piano della sicurezza stradale: Le rotatorie*, OCS Politecnico di Torino

Transportation Research Board Executive, (1998), *NCHRP Synthesis 264: Modern Roundabout Practice in the United States*, Washington, D.C., National Academy Press.



UNIVERSITÀ DI PISA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

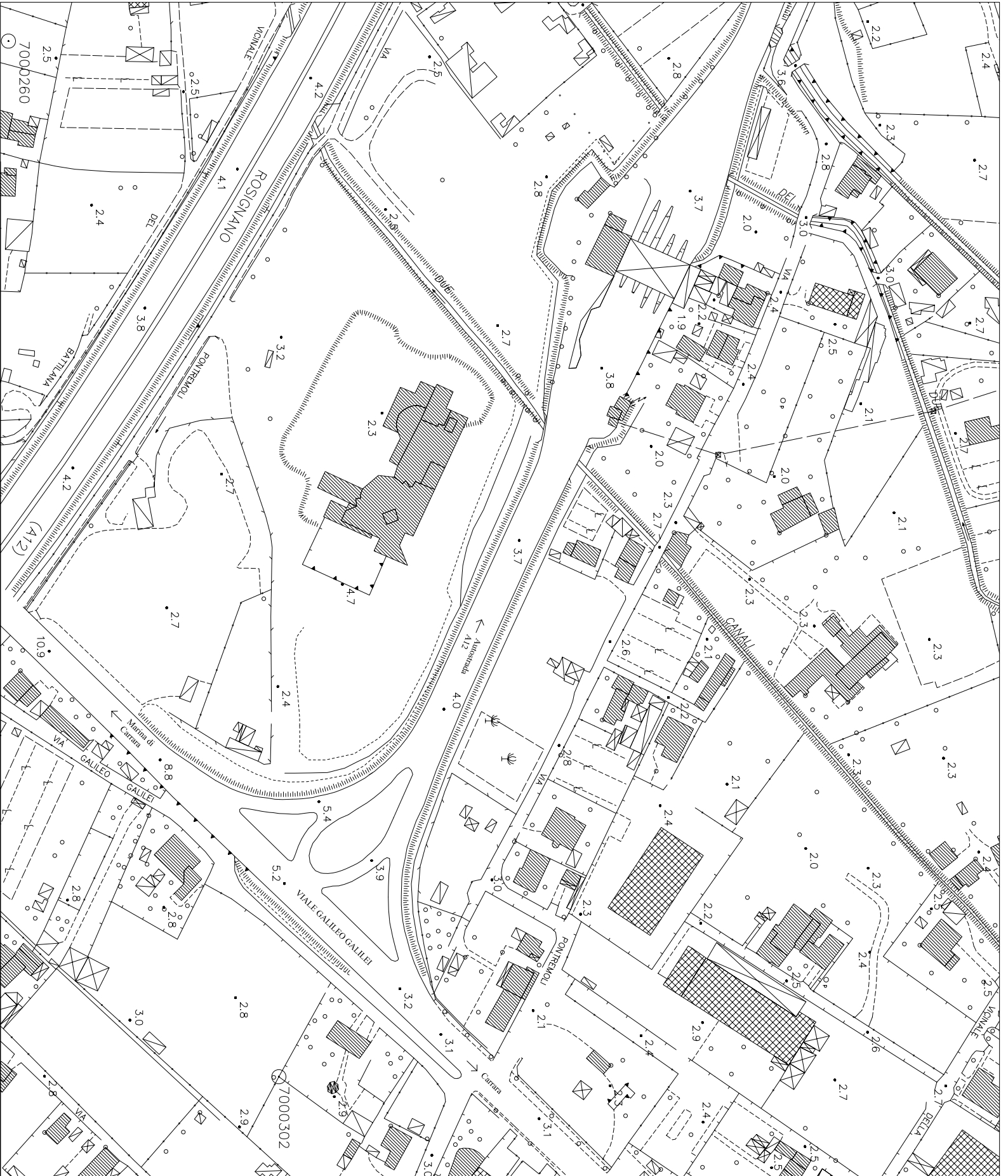
Tesi di Laurea
 in Ingegneria Civile, dell'Ambiente e del Territorio
 Anno Accademico 2008-2009

Studio dell'intersezione
 tra lo svincolo dell'autostrada A12 e Viale Galileo Galilei
 nel Comune di Carrara

Elaborato: Cartografia generale
 Tavola n° 1
 Scala: 1:5000

Relatori
 Prof. Ing. Massimo Losa
 Dott. Ing. Pietro Leandri

Candidato
 Gabriele Invernali



UNIVERSITA' DI PISA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

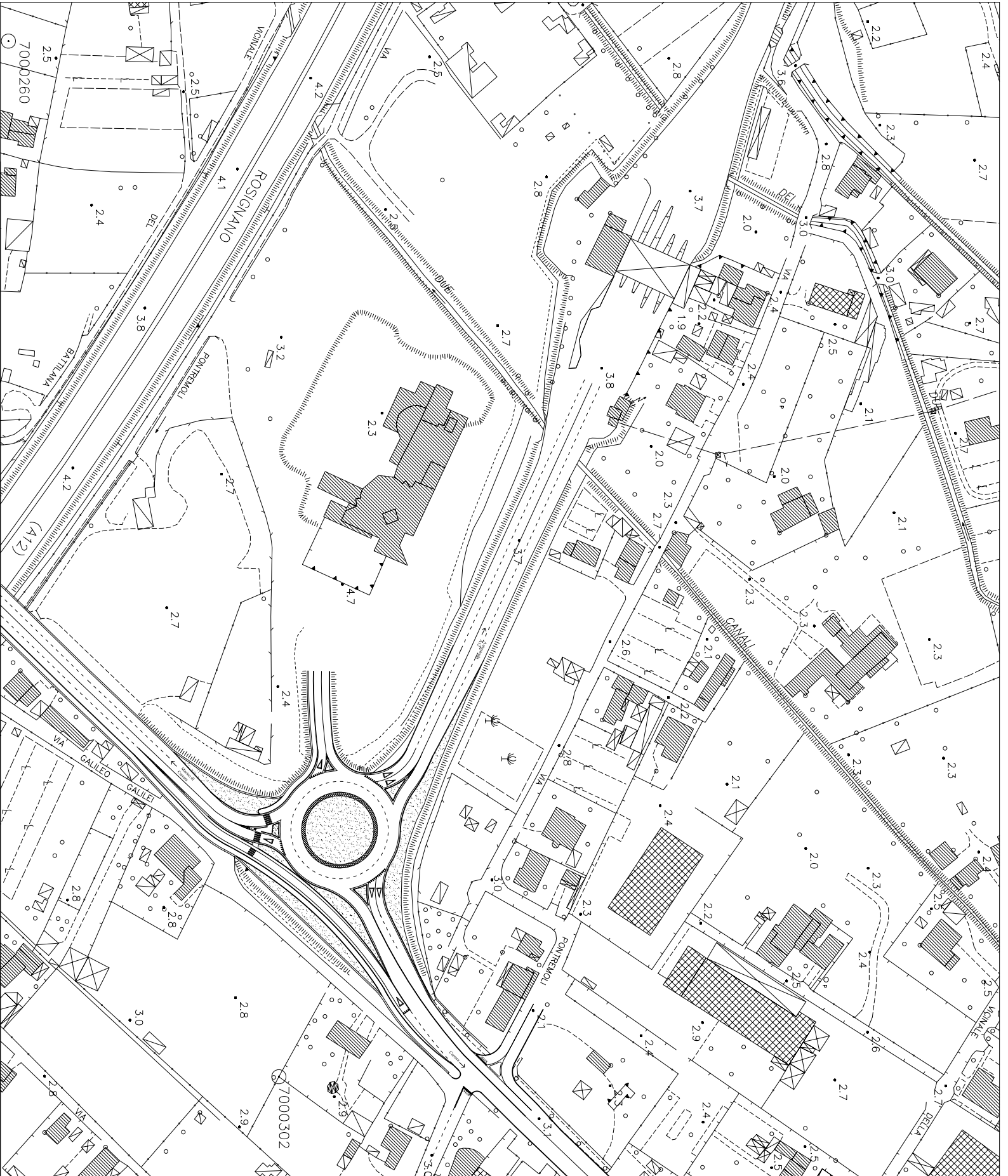
Testi di Laurea
 in Ingegneria Civile, dell'Ambiente e del Territorio
 Anno Accademico 2008-2009

Studio dell'intervento
 tra lo svincolo dell'autostrada A12 e Viale Galileo Galilei
 nel Comune di Carrara

Elaborato: Stato di fatto
 Tavola n° 2
 Scala: 1:500

Relatori
 Prof. Ing. Massimo Losa
 Dott. Ing. Pietro Leandri

Candidato
 Gabriele Inzella



UNIVERSITÀ DI PISA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Tesi di Laurea
 in Ingegneria Civile, dell'Ambiente e del Territorio
 Anno Accademico 2008-2009

Studio dell'intervento
 tra lo svincolo dell'autostrada A12 e Viale Galileo Galilei
 nel Comune di Carrara

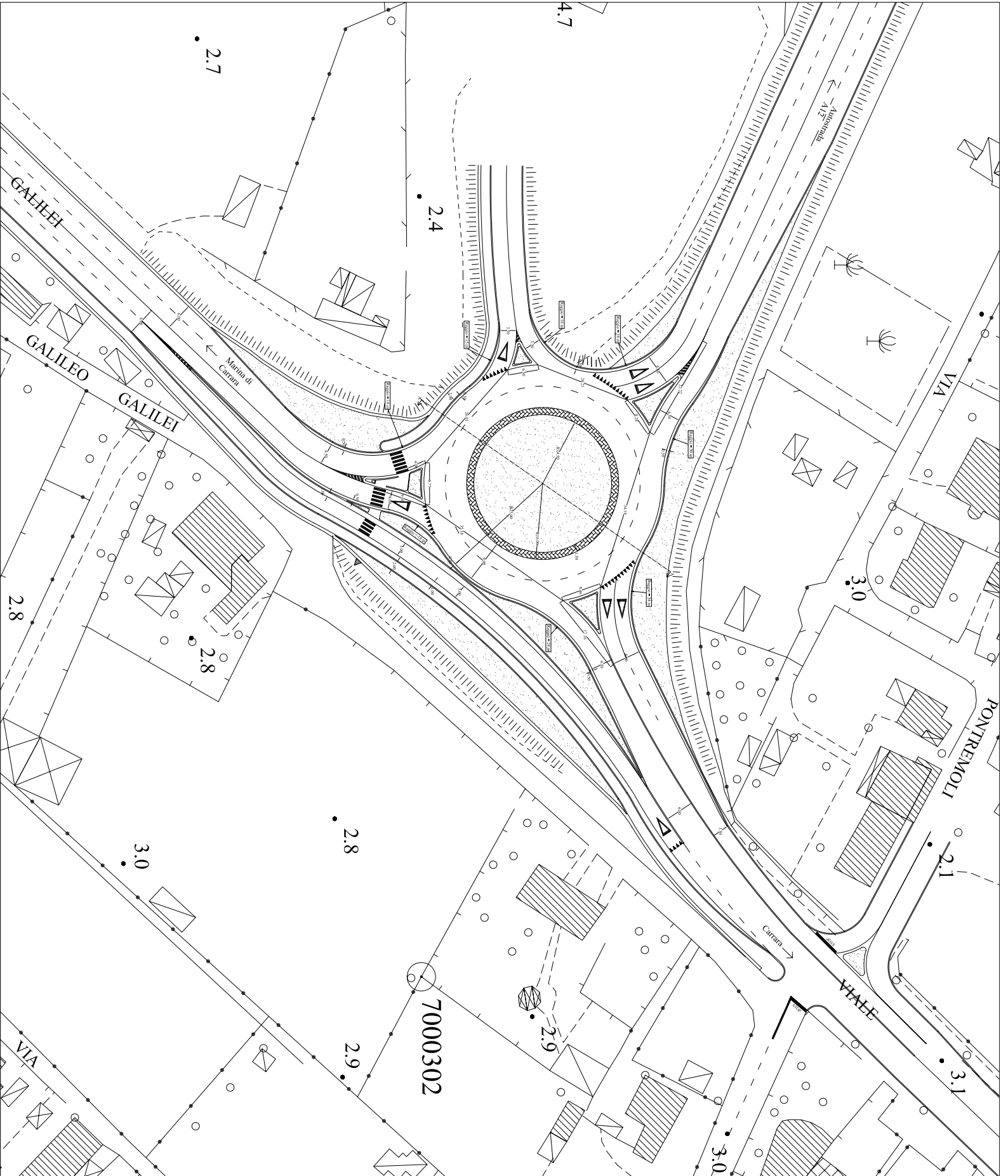
Elaborato: Stato di progetto
 Tavola n° 3
 Scala: 1:500

Relatori

Prof. Ing. Massimo Losa
 Dott. Ing. Pietro Leandri

Candidato

Gabriele Iardella



UNIVERSITÀ DI PISA



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Testi di Laurea
in Ingegneria Civile, dell'Ambiente e del Territorio
Anno Accademico 2008-2009

Studio dell'intervento
tra lo svincolo dell'autostrada A12 e Viale Galileo Galilei
nel Comune di Carrara

Elaborato: Stato di progetto quozato

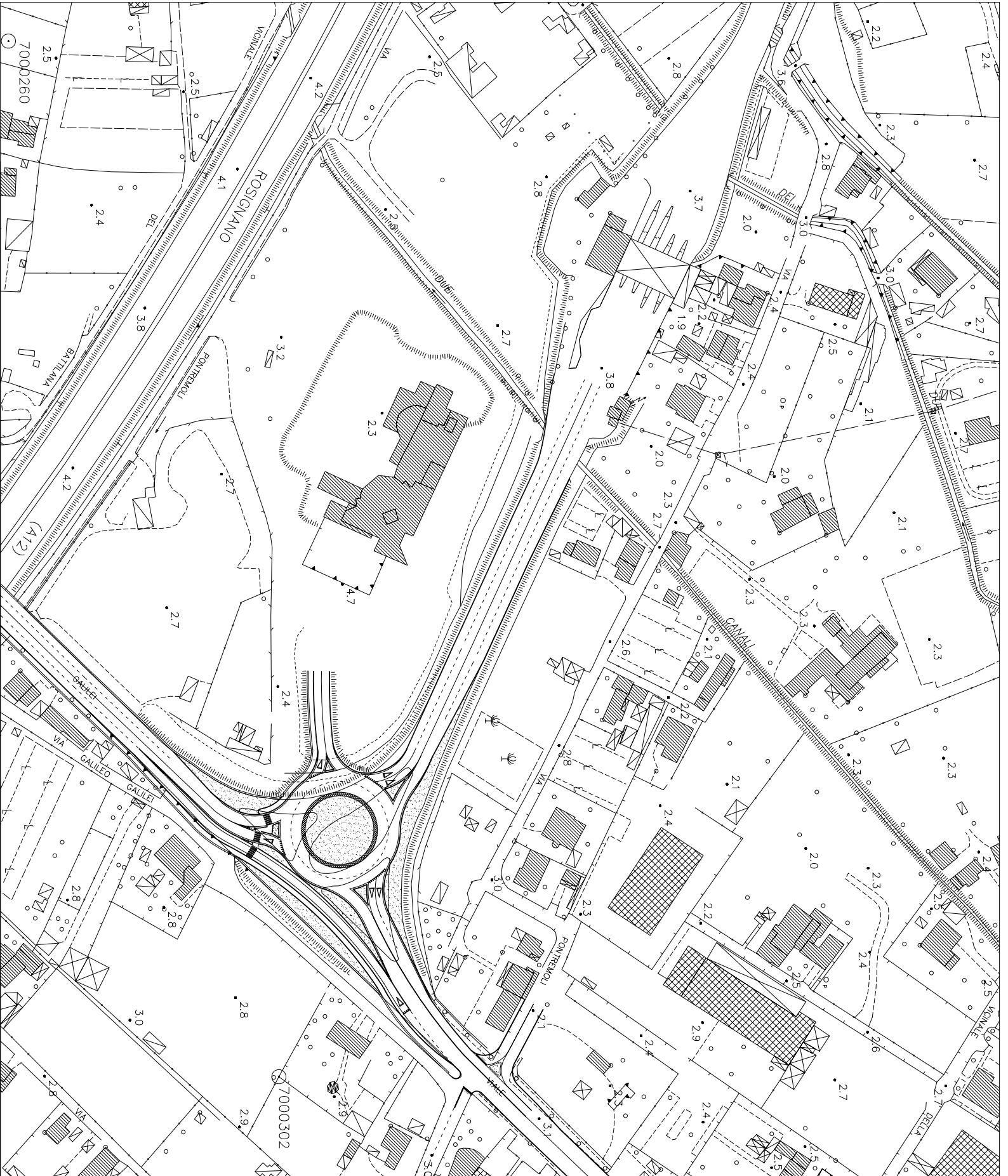
Tavola n° 4
Scala: 1:250

Relatori

Prof. Ing. Massimo Losa
Doc. Ing. Pietro Leandri

Candidato

Gabriele Bartella



UNIVERSITÀ DI PISA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

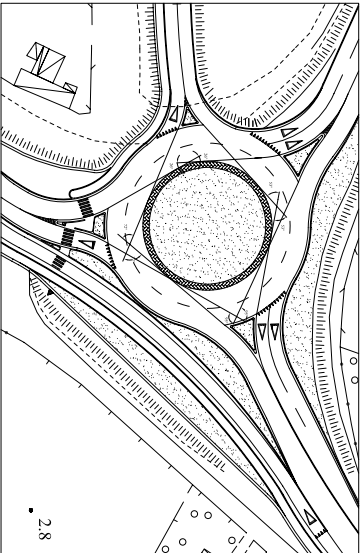
Tesi di Laurea
 in Ingegneria Civile, dell'Ambiente e del Territorio
 Anno Accademico 2008-2009

Studio dell'intervento
 tra lo svincolo dell'autostrada A12 e Viale Galileo Galilei
 nel Comune di Carrara

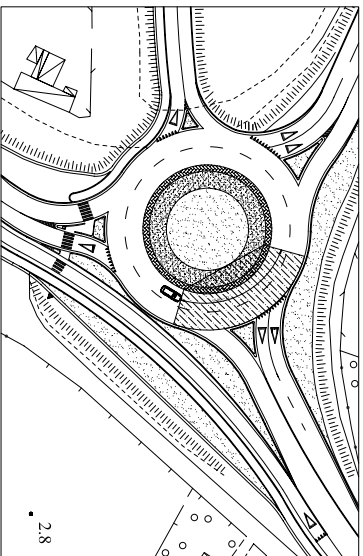
Elaborato: Stato sovrapposto
 Tavola n° 5
 Scala: 1:500

Relatori
 Prof. Ing. Massimo Losa
 Dott. Ing. Pietro Leandri

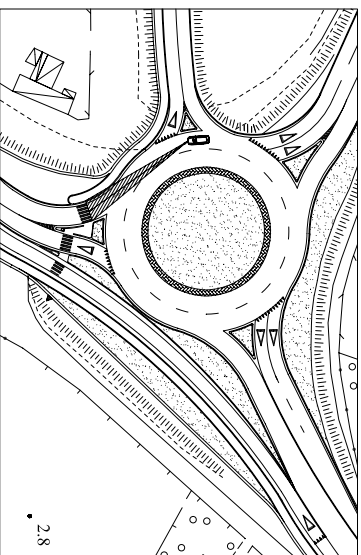
Candidato
 Gabriele Iardella



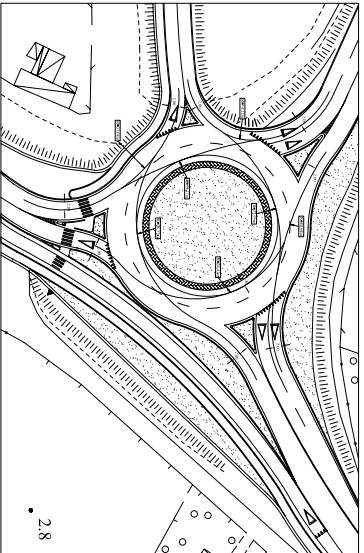
verifiche angoli di deviazione



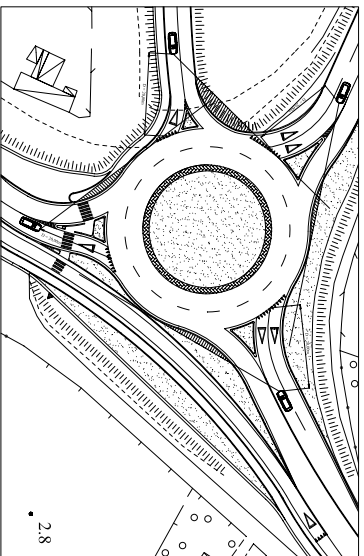
verifica della visibilità nella circolazione lungo l'anello



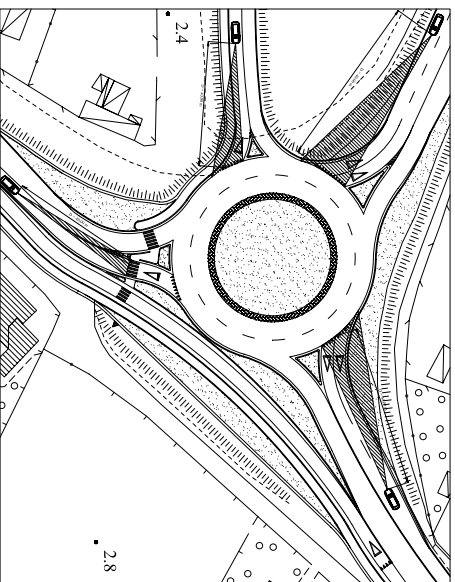
verifica di visibilità di un attraversamento pedonale da parte di un veicolo in uscita



verifiche delnessioni



verifiche di visibilità dell'innessione



verifiche della visibilità per l'arresto

UNIVERSITA' DI PISA



FACOLTA' DI INGEGNERIA

Testi di Laurea

In Ingegneria Civile, dell'Ambiente e del Territorio

Anno Accademico 2008-2009

Studio dell'innessione

tra lo svincolo dell'autostrada A12 e Viale Galileo Galilei

nel Comune di Carrara

Elaborato: Verifiche

Tavola n° 6

Scala: 1:500

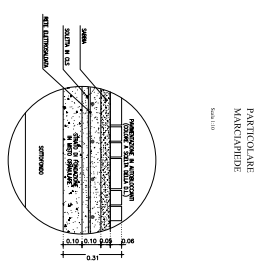
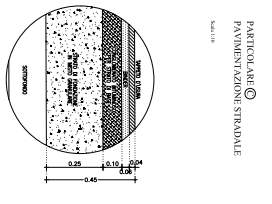
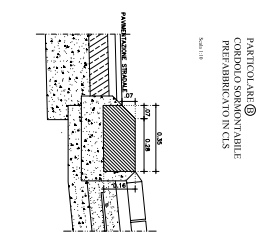
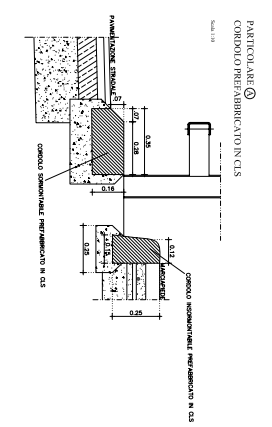
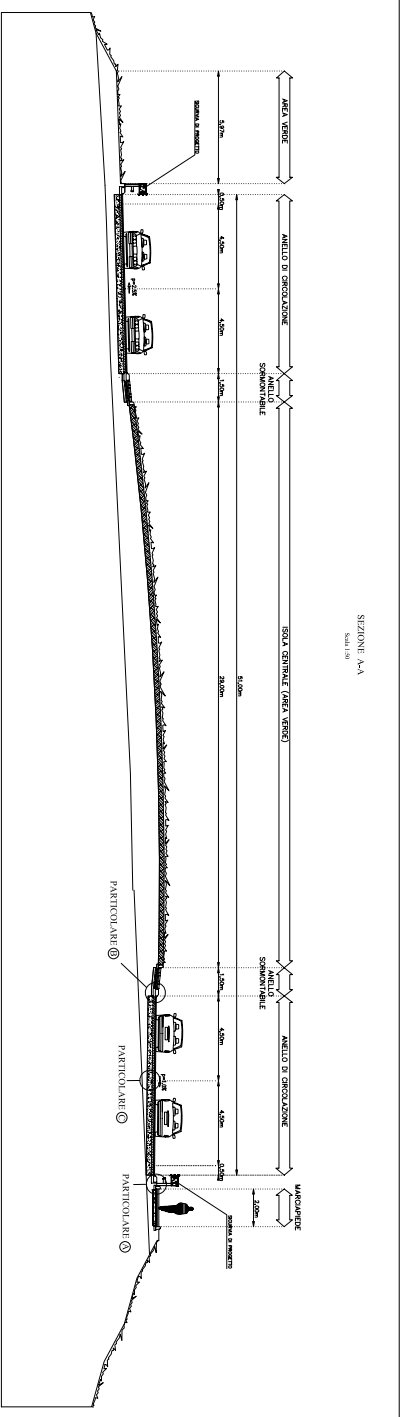
Relatori


Prof. Ing. Massimo Losi

Doc. Ing. Pietro Leandri

Candidato

Gabriele Iardella



 UNIVERSITÀ DI PISA FACOLTÀ DI INGEGNERIA	
Tesi di Laurea in Ingegneria Civile, dell'Ambiente e del Territorio Anno Accademico 2008-2009	
Studio dell'intersezione tra lo svincolo dell'autostrada A12 e Viale Galileo Galilei nel Comune di Carrara	
Elaborato: Sezione tipo Tavola n° 7 Scala : 1:100	
Relatori Prof. Ing. Massimo Losa Dott. Ing. Piero Leandri	Candidato Gabriele Iandella