

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE
INDIRIZZO TRASPORTI
DISTRART

TESI DI LAUREA

in

TEORIA E TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE

PROGETTO E VERIFICA DEL LIVELLO DI SERVIZIO
DELLA SP 19 NUOVA SAN CARLO

CANDIDATO

Jessica Stivani

RELATORE

**Chiar.mo Prof.
Giannino Praitoni**

Anno Accademico 2008/2009
III Sessione

INDICE

INTRODUZIONE

CAPITOLO 1. IL PROGETTO DELLA NUOVA "SAN CARLO"

1.1 Il territorio e la rete viaria interessata.....	1
1.2 Planimetria, elementi geometrici e strutturali della nuova strada.....	4
1.3 Iter progettuale e alternative considerate.....	6
1.4 Coerenza del progetto con le normative.....	11

CAPITOLO 2. STIMA DEI FLUSSI DI TRAFFICO

2.1 Basi teoriche.....	16
2.2 La rappresentazione della domanda.....	18
2.3 La rappresentazione dell'offerta.....	19
2.4 Assegnazione dei flussi alla rete.....	23
2.5 La stima dei flussi di traffico.....	24

CAPITOLO 3. STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO DELLA NUOVA SP 19 "SAN CARLO"

3.1 Concetti generali	35
3.2 Stima della nuova SP 19 "San Carlo"	39

CAPITOLO 4. STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO DELLA NUOVA ROTATORIA COLUNGA

4.1 Aspetti tecnici e funzionali delle rotatorie.....	54
4.2 Caratteristiche geometriche e funzionali delle rotatorie...	60
4.3 Le prestazioni: Capacità e Livello di Servizio.....	63
4.3.1 Metodologia empirico-sperimentale.....	63
4.3.2 Metodologia analitica: stima del Livello di Servizio	67
4.3.3 Definizione analitica del Livello di Servizio.....	76
4.4 Calcolo del Livello di Servizio della Rotatoria Colunga ...	77
4.4.1 Stima dei flussi di traffico.....	78

4.4.2 Stima del Livello di Servizio della rotatoria Colunga **80**

ALLEGATO A

ALLEGATO B

ALLEGATO C

Bibliografia

Parole chiave:

Progetto

San Carlo

Rotatoria

Livello di Servizio

HCM

INTRODUZIONE

Il presente studio è finalizzato alla definizione del LIVELLO DI SERVIZIO (LOS) della nuova Strada Provinciale 19 "San Carlo", collegante la Via Emilia in corrispondenza del Comune di Castel San Pietro Terme con la Trasversale di Pianura in corrispondenza del Comune di Medicina, territori che fanno entrambi parte della Provincia di Bologna.

Tale arteria, il cui progetto è stato curato dalla Provincia di Bologna, è stata realizzata sulla base della constatazione che nel corso degli anni le caratteristiche geometriche e funzionali della vecchia Strada Provinciale 19 "San Carlo" erano diventate obsolete e non più in grado di garantire adeguati livelli di servizio e di sicurezza rispetto agli sviluppi urbanistici ed all'incremento dei volumi di traffico, soprattutto commerciale, avutisi nell'ultimo decennio, nonché rispetto ai flussi prevedibili in relazione al futuro riassetto della viabilità previsto nell'ambito territoriale interessato dall'arteria stessa.

Lo studio qui affrontato si compone di due parti fra loro coordinate:

1. Una prima parte riguardante l'iter progettuale vero e proprio della strada, sviluppata nei capitoli 1 e 2.
 - CAP. 1 - IL PROGETTO DELLA NUOVA SAN CARLO. Definizione delle caratteristiche geometriche e strutturali della nuova strada, compresi i vari nodi di connessione con la viabilità interessante il territorio attraversato. In particolare sono stati descritti i principali elementi strutturali a livello di progetto esecutivo, rimandando all'allegato A per una più dettagliata esposizione, comprese considerazioni di carattere tecnico, economico ed ambientale.

- CAP. 2 - STIMA DEI FLUSSI DI TRAFFICO . Valutazione dei flussi di traffico attuali e prevedibili che interessano, in generale, la rete nel cui ambito è collocata la nuova "San Carlo", con l'evidente scopo di definire il carico veicolare su tale infrastruttura e di conseguenza il livello di servizio, tenuta presente, la sua configurazione geometrica; questa analisi è stata condotta mediante l'ausilio del software VISUM, previa rilevazione dei flussi di traffico in alcune sezioni significative (nell'allegato B sono riportate le basi teoriche e l'applicazione del software).

Tutta questa prima parte è stata elaborata partendo da materiale cartografico e statistico messo a disposizione dalla Provincia di Bologna.

2. Una seconda parte in cui, preso atto delle simulazioni effettuate e delle caratteristiche geometriche e plano-altimetriche della strada, si valuta il livello di servizio degli archi e dei nodi della nuova strada, in particolare:

- CAP. 3 - STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO DELLA NUOVA SAN CARLO mediante l'impiego del software Highway Capacity Software (HCS)
- CAP. 4 - STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO DELLA NUOVA ROTATORIA COLUNGA , mediante l'utilizzo del software SIDRA sulla base dei flussi di cui al punto 1 e di altri rilevati ad hoc.

CAPITOLO 1. IL PROGETTO DELLA NUOVA "SAN CARLO"

1.1 Il territorio e la rete viaria interessata

Come appare dalle planimetrie generali (Figure 1-1-a e 1-1-b) la nuova Strada Provinciale 19 "San Carlo" è inserita in un contesto territoriale e infrastrutturale di notevole interesse, compreso fra l'asse della Via Emilia e la Trasversale di Pianura (Strada Provinciale 3).

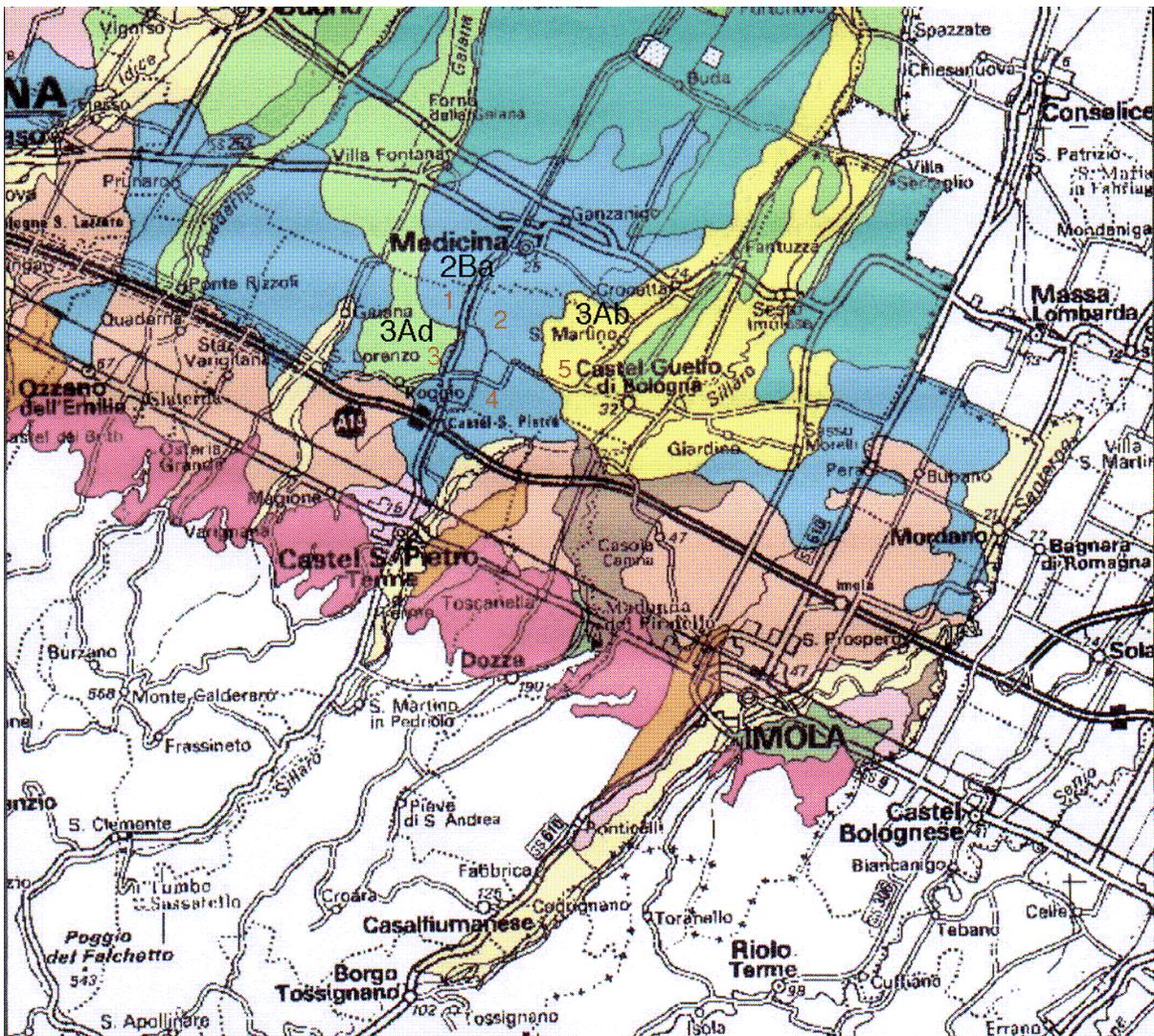


Figura 1-1-a

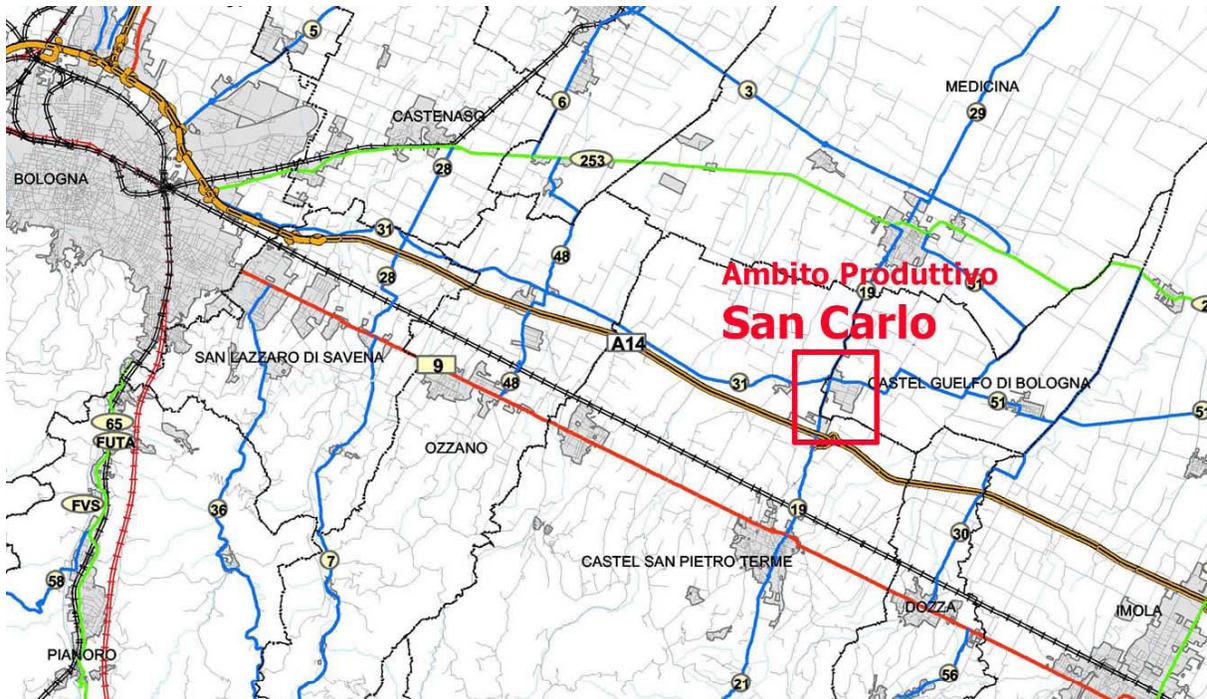


Figura 1-1-b

Il nuovo tracciato della SP 19, è stato realizzato con lo scopo di sostituire le vecchie funzioni svolte dalla SP 19 "San Carlo" che ha sempre avuto la connotazione di importante asse viario per i collegamenti Nord-Sud, rappresentando un collegamento diretto tra la Via Emilia, il casello autostradale dell'A14 (Castel San Pietro Terme), la SP 31 "Colunga", la SP 253 "San Vitale" e la SP 3 "Trasversale di Pianura".

Nella fattispecie l'intervento è funzionale al potenziamento del collegamento viario con la Provincia di Ravenna tramite un progetto di variante della SP 253 concordato collegialmente tra le due Province, ricadente tra le priorità contenute nel PRIT 98 della Regione Emilia Romagna ed inserito nel Programma Triennale Regionale per l'anno 2005. Tale variante parte dalla sezione di innesto con la "Trasversale di Pianura" in località Ganzanigo fino alla A14 bis liberalizzata (casello di Lugo). Inoltre, sul territorio dei tre Comuni interessati dall'intervento, molte aree sono state destinate ad insediamenti industriali e artigianali,

non ultimo l'insediamento industriale "Ford Arcese" per il quale sono in via di ultimazione i lavori di collegamento alla SP 19.

Le caratteristiche peculiari di questo nuovo asse viario si riassumono nell'ampia carreggiata di larghezza ml. 11,50 (D.M. nr. 5/01/2001 - cat. C1) e nell'assenza di intersezioni a raso, a vantaggio della sicurezza della circolazione. L'opera in oggetto, ai sensi della Legge Regionale nr. 9/99 e successive modifiche, appartiene alla categoria B.2.40 che comprende progetti di "Strade Extra Urbane Secondarie".

Il tracciato realizzato ed aperto alla circolazione il 15 marzo 2008, con un anticipo di 7 mesi rispetto al programma lavori contrattuale, è frutto di un attento studio di più alternative, rappresentando il giusto compromesso tra le esigenze progettuali e funzionali ed il rispetto dei confini e della trama dei fondi agricoli interessati : si è evitato, ove possibile, di intersecare le proprietà con angolazioni eccessive del tracciato, cercando di creare pochi relitti fondiari che avrebbero costituito un ulteriore aggravio di spesa per la Pubblica Amministrazione.

1.2 Planimetria, elementi geometrici e strutturali della nuova strada

Il tracciato della nuova "San Carlo" è illustrato nella planimetria di Figura 1-2.

La lunghezza totale dell'intervento è di ml. 7.271 e considerando anche i rami di svincolo e le intersezioni ulteriori ml. 3.371.

Le caratteristiche peculiari della nuova strada si riassumono nella carreggiata di categoria C1 (classificazione D.M. nr. 5/01/2001) e nelle tipologie delle intersezioni, previste del tipo a livelli sfalsati.

Le opere previste in progetto sono :

- 1) Un innesto con svincolo a raso al km 5+990 della SP 19.
- 2) Uno svincolo in corsia nord, posto in corrispondenza del km 5+635 della SP 19.
- 3) Un'intersezione a livelli sfalsati con la SP 31 "Colunga", realizzata tramite la costruzione di un cavalcavia, di una nuova rotatoria sulla SP 31 e di un quinto braccio di innesto alla rotatoria già esistente in corrispondenza della zona residenziale di Poggio Piccolo (vedi Figura 1-3).
- 4) Quattro sottovia carrabili costituiti da manufatti in cemento armato a struttura semiscatolare con carreggiata a piano di campagna per consentire lo scavalcamento delle strade comunali di Via Cartara, Via Roslè, Via Comastri e Via Villa Fontana.
- 5) Tre sottovia carrabili costituiti da manufatti in cemento armato a struttura semiscatolare con carreggiata a piano campagna per lo scavalcamento delle strade interpoderali e dei fondi agricoli interclusi.

6) Un cavalcavia a 3 campate sulla SP 253 San Vitale, con intersezione a livelli sfalsati, realizzata tramite una rotatoria sottostante.

7) Un sottopasso ciclopedonale sul fondo della linea ferroviaria dismessa (ex Veneta) in Comune di Medicina.

8) La discesa con cavalcavia sulla SP 3 ed intersezione a livelli sfalsati (svincolo "a trombetta").

9) Tutte le opere di regolamentazione di acque meteoriche, barriere di sicurezza, eventuali opere di mitigazione dell'impatto ambientale e di completamento per dare l'opera finita a regola d'arte.

Infine ulteriori dati progettuali di dettaglio a livello esecutivo (tipo di manufatti, scatolari, ecc.) nonché i materiali utilizzati, le fasi lavorative, le problematiche di impatto ambientale ed infine gli oneri di costruzione sono stati riportati nell'Allegato A.

1.3 Iter progettuale e alternative considerate

Il progetto preliminare dell'opera è stato approvato con delibera di Consiglio Provinciale nr. 329 del 1/10/02, ed è stato quindi trasmesso ai Comuni per l'avvio della procedura di variante urbanistica e del procedimento ai sensi degli articoli 7-12 della Legge 241/90.

I Comuni di Medicina, Castel San Pietro Terme e Castel Guelfo hanno adottato con delibere di Consiglio, nelle date del 19, 21 e 22 Novembre 2002 le rispettive varianti urbanistiche al P.R.G. con inserimento dell'opera in oggetto. Esaurita la procedura L 241/90, con trasmissione delle controdeduzioni ai proprietari interessati dall'esproprio sulla base del progetto preliminare, il progetto è stato rielaborato in conseguenza all'accoglimento di alcune osservazioni pervenute, ed è stato ritrasmesso ai Comuni in data 10/04/2002 con richiesta di nuova notifica alle sole Ditte interessate dall'esproprio in conseguenza delle modifiche intervenute. Quindi è stata avviata la procedura di V.I.A. (Valutazione d'Impatto Ambientale) sulla base degli elaborati del progetto definitivo.

Una volta esaurita la procedura con esito positivo, decretato da Delibera Regionale, ed ottenuta la ratifica dai Consigli Comunali, si è proceduto all'approvazione del progetto definitivo e, ai sensi dell'art. 1 della Legge 1/78, tale approvazione ha costituito la dichiarazione di pubblica utilità, indifferibilità ed urgenza delle opere stesse.

Con la realizzazione della nuova opera non sono conseguiti maggiori oneri di gestione per l'Amministrazione, non sorgendo necessità di variazione dell'organico del personale in luogo, in quanto il vecchio tratto di Strada Provinciale 19 di lunghezza praticamente uguale alla variante, sarà declassato a Strada Comunale.

Le diverse alternative sono state valutate dai progettisti in funzione dei seguenti parametri :

- localizzazione sul territorio dei tracciati;
- diverso dimensionamento delle opere stradali;
- diversi livelli di esercizio;
- diversificazione nella scelta dei processi e dei metodi di lavoro;
- diversi modi di gestire o soddisfare la domanda di trasporto;
- diversità dei tipi e delle fonti di materia prima;
- diverse mitigazioni degli impatti ambientali in fase d'esercizio;
- diversa tempistica, scelta dei tempi di lavoro e di esercizio, programmi di attuazione e gestione.

Le alternative che sono state analizzate in sede di progetto (Figura 1-4) furono:

- allargamento della vecchia sede stradale con correzione delle caratteristiche geometriche del tracciato: tale soluzione non si è ritenuta idonea per la presenza degli accessi carrai sulla sede stradale e la presenza di numerosi edifici prospicienti, che di fatto hanno costituito impedimento all'adeguamento geometrico del tracciato ed alla sua messa in sicurezza;
- un nuovo percorso che utilizzasse in parte le viabilità comunali esistenti di Via Cartara e Via Roslè: tale soluzione non è potuta essere percorribile per gli stessi motivi sopra esposti e per l'allontanamento del tracciato della sede stradale della strada provinciale esistente con conseguente

difficoltà nell'innesto lato Poggio e allungamento del percorso;

- un nuovo percorso che utilizzasse in parte la Strada Comunale Cappellazzo: tale soluzione oltre a presentare gli stessi problemi delle due sopra, si discosta di molto dalla sede stradale della strada provinciale e quindi il collegamento dei punti di partenza e arrivo, sarebbe dovuto avvenire attraverso un tracciato notevolmente più lungo con conseguente maggiore impatto sul territorio e maggiori costi.

Il tracciato proposto in fase di progetto rappresenta il giusto compromesso tra le esigenze progettuali qui elencate:

- assenza di incroci a raso;
- assenza di accessi carrai;
- distanza dalle abitazioni;
- caratteristiche dimensionali e plano-altimetriche della piattaforma stradale;
- minor lunghezza del percorso;
- rispetto dei confini e della trama dei fondi agricoli interessati.

Le soluzioni tecniche prescelte, tra cui la piattaforma stradale con un franco medio di ml. 1,00 sul piano di campagna con innalzamento in prossimità dei ponti e dei sottopassi, hanno permesso il mantenimento della viabilità locale, interpoderale ed agricola tramite manufatti scatolari sottopassanti l'opera non interrati e che dunque non hanno richiesto, a vantaggio della sicurezza e della funzionalità, l'ausilio di impianti di pompaggio per lo smaltimento delle acque.

Infatti, come già ribadito, il mantenimento del tracciato con lavori di semplice allargamento della carreggiata è stato impedito dalle numerose costruzioni prospicienti la sede stradale che non

hanno reso possibile sia il semplice allargamento della carreggiata, sia la realizzazione di svincoli a livelli differenziati necessari, in considerazione dell'importanza che assumerà la strada, a garantire la sicurezza della circolazione.

La scelta sulla variante stradale è risultata dunque obbligatoria, ed il tracciato proposto è frutto di un attento studio di più alternative rappresentando il giusto compromesso tra le esigenze progettuali ed il rispetto dei confini e della trama dei fondi agricoli interessati. Si è evitato, ove possibile, di intersecare le proprietà con angolazioni eccessive del tracciato, cercando di creare pochi relitti fondiari che avrebbero costituito un ulteriore aggravio di spesa per la Pubblica Amministrazione.

Il tracciato è stato inoltre progettato al fine di garantire il massimo livello di sicurezza delle viabilità. Si ricorda infatti che la scelta del tracciato è stata effettuata solo dopo aver scartato le alternative ritenute non idonee per la presenza di accessi carrai e di numerosi edifici prospicienti in quanto fortemente vincolanti nella messa in sicurezza del tracciato stesso. La stessa scelta della tipologia di strada, priva di incroci e accessi non regolamentati, caratterizzata da innesti sulla viabilità esistente mediante rotatorie o svincoli e la notevole ampiezza della banchina, sono tutti elementi che concorrono a ridurre al minimo il rischio di incidenti in condizioni di esercizio ordinarie.

E' inoltre stato previsto che nel caso in cui si verificasse un incidente, dove siano coinvolti mezzi che trasportano sostanze pericolose allo stato liquido o che comunque abbiano caratteristiche fisiche che ne permettano la dispersione, può essere attivato un sistema di contenimento di emergenza infatti, la rete di allontanamento delle acque meteoriche costituita dai fossi laterali al tracciato, è dotata di saracinesche intermedie per isolare a monte e a valle il punto in cui è avvenuto lo

sversamento accidentale. Questo sistema permette di evitare la diffusione dell'inquinante al corpo ricettore e favorisce le operazioni di recupero di volta in volta definite in funzione dell'inquinante stesso.

Tutte le aree intercluse adiacenti alla nuova variante sono state vegetate con specie tipiche dell'area, al fine di creare un inizio di rete ecologica da completare con altri interventi sul territorio e dal punto di vista paesaggistico minimizzando la percezione negativa dei rilevati.

1.4 Coerenza del progetto con le normative

La procedura di V.I.A raccoglie e sostituisce, per le opere pubbliche o di interesse pubblico, tutti gli atti di assenso richiesti dalle vigenti normative per la realizzazione del progetto.

Per il progetto in esame tali atti sono stati individuati e riportati nella seguente tabella.

Autorizzazioni	Ente
Autorizzazione paesaggistica	Comuni di Medicina, Castel Guelfo, Castel S. Pietro Terme
Autorizzazione edilizia	Comuni di Medicina, Castel Guelfo, Castel S. Pietro Terme
Nulla osta sull'autorizzazione paesaggistica (D.Lgs 490/99)	Soprintendenza per i Beni Ambientali ed Architettonici
Nulla osta per i Beni Archeologici	Soprintendenza per i Beni Ambientali ed Architettonici
Pareri di competenza	AUSL, ARPA
Autorizzazioni in ottemperanza alle norme: L. 183/89, art 10 comma 4; L.584/94; DPR 1363/59; Delibera del Consiglio Regionale 3109/90	Regione Emilia Romagna, Servizio Tecnico Bacino Reno
Parere ai sensi del DPR 37/98	Vigili del Fuoco
Nulla osta di competenza per eventuali interferenze	Aeronautica militare SEABO, TELECOM, ENEL
Parere relativo alla eventuale presenza di ordigni bellici	Direzione Genio Militare di Bologna
Autorizzazione scarico acque utilizzate in corpo ricettore	Provincia di Bologna

Tabella 1-1

Per quanto riguarda gli indirizzi tecnici si sono considerati la "Circolare dell'Azienda Autonoma Nazionale Strade" nr. 3458 del 10/05/1960, i "Criteri per la progettazione delle strade in base alle caratteristiche del traffico", le "Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade extraurbane" - "Norme Tecniche CNR" nr. 78 del 28/07/1980 ed il Decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 5/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".

La Circolare nr. 3458 del 10/05/1960 fornisce le definizioni di:

1. volume di traffico: numero di veicoli che transitano in una sezione della carreggiata (o della corsia) durante un intervallo di tempo definito;
2. intensità di traffico o tasso di flusso: volume che defluisce in un breve arco di tempo (15 min), rapportato all'ora;
3. carreggiata: multiplo di corsia;
4. corsia: parte di carreggiata che ha larghezza sufficiente per permettere la circolazione di una fila di veicoli;
5. densità di traffico: numero di veicoli presenti su una lunghezza data di carreggiata (solitamente 1 km) in un istante.

Pertanto la velocità di scorrimento viene fortemente influenzata dal volume di traffico, essendo pari al prodotto della densità per la velocità.

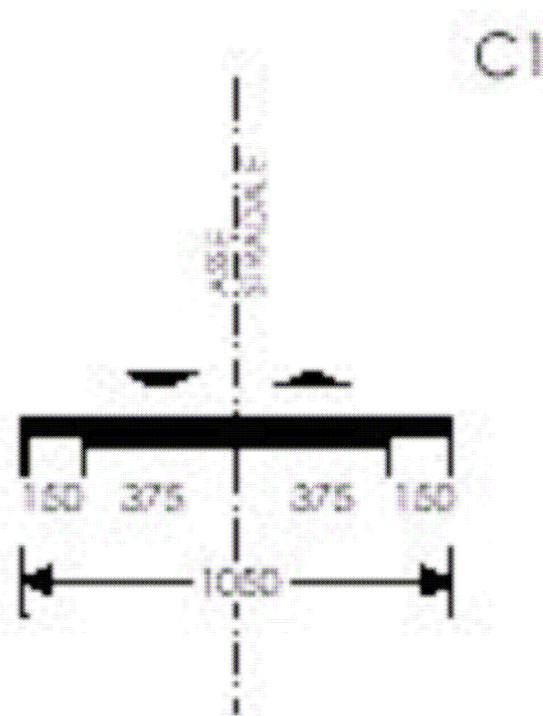
La stessa Circolare inoltre stabilisce che la larghezza della carreggiata (e quindi il numero delle corsie) va determinata in funzione del traffico orario massimo (tasso di flusso) ed in particolare del traffico della 30° ora, inteso come il volume orario che, su una determinata carreggiata, viene superato solamente 290 volte l'anno. Di fatto il criterio della 30° ora di

punta , risalente agli anni '50-'60, appare largamente superato se si considera che dal 1970 al 2000 il parco veicolare ha registrato un aumento del 300%. Oggi il criterio progettuale da adottare è dettato da HCM 2000 che per il flusso di punta prevede almeno un livello di servizio C.

Per la determinazione delle caratteristiche plano-altimetriche si è assunta una velocità di base, come indicato dal DM del 5/11/2001, intesa come velocità massima che può essere mantenuta in condizioni di bassa densità. Così, in funzione della velocità di base, si è determinato il raggio minimo delle curve verticali e orizzontali e spazio di arresto.

La variante San Carlo SP 19 è infatti classificabile dal DM 5/11/2001 come strada extraurbana secondaria C1, le cui caratteristiche principali sono:

- 1 corsia per senso di marcia;
- intervallo di velocità: 60-100 km/h
- larghezza corsia di ml. 3,75;
- larghezza banchine di ml. 1,50;
- portata di servizio per corsia pari a 600 veicoli equivalenti;
- sosta ammessa in apposite piazzole



Tutti i dati in precedenza riportati verranno poi opportunamente adottati in sede di valutazione del Livello di Servizio secondo la procedura HCM 2000.

Infine, per quanto riguarda l'inserimento nella rete esistente, in funzione del tipo di movimento servito, dell'entità dello spostamento, della funzione assunta all'interno del contesto territoriale e delle componenti di traffico, è possibile individuare nel sistema globale delle infrastrutture stradali quattro livelli di rete.

In particolare si definisce rete secondaria di penetrazione quella a cui appartiene la strada extra urbana secondaria. La rete secondaria ha funzione di penetrazione verso la rete locale ed il suo spostamento è di lunghezza ridotta, sopportando tutte le componenti di traffico e svolgendo in ambito extra urbano, la funzione di collegamento interlocale.

Una volta individuata la classe funzionale di ogni rete è possibile definire le caratteristiche d'uso e le collocazioni delle strade stesse, tenendo ben presente che la funzione principale della singola strada deve coincidere con quella della rete a cui appartiene, o perlomeno deve esserci una coerenza funzionale tra elemento strada e rete.

Inoltre, per assicurare il funzionamento del sistema globale, devono essere rese omogenee anche le interconnessioni, a loro volta appartenenti a diverse classi funzionali in funzione dei collegamenti che garantiscono.

Secondo il tipo di strada sono inoltre ammesse alla circolazione categorie di traffico diverse, che per le strade di tipo C sono: autovetture, ciclomotori, autobus, autocarri, autotreni, autoarticolati e macchine operative.

Per ognuna delle categorie ammesse alla circolazione in piattaforma, sono definiti anche gli spazi assegnati, divisi in corsia, banchina e spazi riservati.

CAPITOLO 2. STIMA DEI FLUSSI DI TRAFFICO

2.1 Basi teoriche

Mentre per definizione del carico veicolare su una infrastruttura esistente, finalizzata alla verifica del Livello di Servizio, secondo la procedura implementata da HCM 2000, è sufficiente effettuare dei rilevamenti ad hoc in vari punti (sezioni) ed in opportuni periodi temporali, per la stima del carico veicolare su una infrastruttura di progetto è evidentemente necessario ricorrere a procedure di carattere previsionale, utilizzando idonei modelli capaci di simulare il funzionamento del sistema dei trasporti del territorio interessato al problema, nelle sue componenti (domanda e offerta) e rispettive interazioni.

Infatti, come noto, il fenomeno che quotidianamente si presenta sulla rete stradale di un dato ambito territoriale, ovvero la circolazione veicolare, variabile da ora ad ora e con diversa composizione, deriva appunto dall'interazione fra i due sistemi componenti il sistema dei trasporti, ossia:

- il sistema della domanda, che consegue dalle esigenze di mobilità connesse alla distribuzione della popolazione e dalle attività nel territorio e deriva pertanto dalle scelte di viaggio effettuate dagli utenti per svolgere tali attività, ed è quindi costituito dal numero di persone e/o quantità di merce che si spostano fra i vari punti del territorio, in date fasce orarie, per molteplici motivazioni, con i modi disponibili. La domanda è rappresentabile mediante una matrice O/D.
- il sistema dell'offerta, costituito dall'insieme delle componenti fisiche (infrastrutture di vario tipo), normative (esempio: Codice della Strada) ed organizzative (esempio: organizzazione della rete a sensi unici alternati) che

concorrono a fornire il servizio di trasporto. Tale sistema è caratterizzato da oneri temporali e monetari (costo generalizzato) a carico degli utenti ed è rappresentabile mediante un grafo ai cui elementi (arche e nodi) sono associate date funzioni di costo.

L'interazione domanda-offerta consegue dall'insieme delle scelte comportamentali effettuate dagli utenti (domanda), rispetto alla gamma dei servizi disponibili (offerta), tenuto conto degli oneri suddetti, che portano alle condizioni di equilibrio (1° Principio di Wardrop - Modello di equilibrio dell'utente: *la distribuzione di equilibrio dei flussi su una rete è tale che nessun utente può ridurre il costo percepito con decisione unilaterale di cambio di percorso.*) fra i due precedenti sistemi e si traducono in correnti o flussi di traffico sulla rete, costituenti pertanto l'input del sistema.

Si ricorda che si producono anche output indesiderati quali inquinamento acustico, incidenti, ecc.

Di seguito vengono sommariamente richiamate le caratteristiche fondamentali della domanda, dell'offerta e dell'interazione domanda/offerta, sintetizzabile quest'ultima, nel processo di assegnazione dei flussi alla rete.

Nel caso presente la stima della domanda, le caratteristiche dell'offerta ed il calcolo (assegnazione) dei flussi sulla rete sono state effettuate con l'ausilio del software VISUM (di cui in allegato B si riportano le basi teoriche e l'iter applicativo) previo rilievo di flussi di traffico in opportune sezioni della rete stradale di cui fa parte la nuova Strada Provinciale "San Carlo".

2.2 La rappresentazione della domanda

La domanda di trasporto è l'insieme di persone e merci che si spostano in un determinato intervallo di tempo in un dato territorio. Il singolo spostamento generalmente non produce un'utilità, ma rappresenta un'attività complementare allo svolgimento di altre attività. Ecco perché si può parlare di domanda "derivata" prodotta dall'azione congiunta del sistema di attività socioeconomiche e produttive del territorio e del sistema di offerta di trasporto.

L'analisi della domanda di trasporto ai fini dell'applicazione di metodologie di modellazione del traffico veicolare, richiede che il territorio oggetto dello studio sia suddiviso in porzioni in cui si immaginano concentrate le origini e le destinazioni dei movimenti. Tale operazione è definita "zonizzazione" e le zone così individuate rappresentano l'unità minima di riferimento per la definizione della matrice O/D degli spostamenti.

Si assume pertanto che i flussi sulla rete di trasporto abbiano sempre origine e destinazione in un punto rappresentativo dell'intera zona, centroide, collegato al grafo della rete da archi fittizi.

La matrice O/D può essere costruita o mediante indagini dirette (dette appunto indagini O/D) o mediante aggiornamento di precedenti matrici, con procedimento ad hoc utilizzando rilievi di traffico su rami della rete interessata come appunto in questo caso.

2.3 La rappresentazione dell'offerta di trasporto

L'offerta stradale viene rappresentata attraverso un grafo costituito da archi e nodi. L'accesso fra rete e zone di traffico, (rappresentate da nodi centroidi), avviene attraverso connessioni che non hanno alcuna corrispondenza con elementi reali della rete.

Gli archi

Gli elementi lineari del grafo sono costituiti da archi mono o bidirezionali, non necessariamente rettilinei, ai quali possono essere associati una serie di informazioni quali:

- modi abilitati alla percorrenza;
- lunghezza;
- numero delle corsie;
- caratteristiche funzionali

I tipi di arco e le funzioni di costo

Ad archi e percorsi (sequenze di archi) vengono associate alcune variabili, essenzialmente il *costo* ed il *flusso*: le relazioni esistenti tra queste sono legate alla tipologia della rete.

Il *costo generalizzato* rappresenta le diverse voci di costo sopportato dagli utenti e da loro percepito nella effettuazione della scelta del percorso. In altri termini il costo generalizzato di un arco riflette la disutilità degli utenti a percorrere l'arco stesso. Gli elementi che compongono il costo sono in genere grandezze non omogenee, come tempo di percorrenza, costo monetario, discomfort. Per ridurre il costo ad un'unica grandezza scalare si può prendere in esame la componente più rilevante per gli utenti, di solito il tempo di percorrenza, oppure omogeneizzare le diverse componenti attraverso l'applicazione di coefficienti. Il costo di un percorso è definito come la somma dei costi degli archi che compongono il percorso stesso.

L'altra variabile associata ad ogni arco di una rete di trasporto è il *flusso*, ossia il numero di veicoli che attraversa una sezione dell'arco nell'unità di tempo, di norma 1 ora, [veic/h]. Se esistono diverse classi di veicoli, si possono considerare separatamente i flussi di ciascuna classe oppure i flussi possono essere omogeneizzati mediante l'impiego di opportuni coefficienti di equivalenza.

Per completare la descrizione del modello di offerta è necessario introdurre le relazioni che legano le variabili di costo e quelle di flusso. Il costo di un arco può essere funzione del solo flusso che percorre l'arco stesso (costo tipico del flusso ininterrotto) oppure anche dei flussi che percorrono altri archi del grafo (caso tipico del flusso interrotto degli archi urbani).

La funzione che consente di calcolare il costo di ciascun arco in funzione dei flussi prende il nome di *funzione di costo*. In generale è solo la componente temporale del costo generalizzato che varia per effetto della congestione mentre, ad esempio, la componente pedaggio rimane costante. Nelle funzioni di costo intervengono alcune grandezze, associate ad ogni arco, legate solo alle caratteristiche geometriche e funzionali della rete, e non alla domanda di trasporto:

- la *capacità*, ossia il numero massimo di veicoli che possono defluire in una predefinita sezione dell'arco nell'unità di tempo (in genere 1 ora) e il cui superamento porta ad un funzionamento instabile del sistema e successivamente al blocco del traffico;
- il *tempo di percorrenza a rete scarica*, in assenza di traffico o, ragionando in termini di velocità, la velocità di percorrenza a rete scarica detta anche velocità libera ovvero velocità di progetto.

La funzione di costo generalmente utilizzata è la così detta funzioni BPR (BUREAU OF PUBLIC ROADS-USA 1964), la cui espressione generale è:

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

dove

t : tempo di percorrenza;

t_0 : tempo di percorrenza a rete scarica;

q : flusso;

q_{\max} : capacità.

I parametri a , b e c sottintendono un insieme di fattori funzionali dell'arco (caratteristiche geometriche, condizioni d'uso, pendenza, tortuosità).

In particolare:

c rappresenta il numero di corsie per senso di marcia;

a rappresenta l'incidenza del ritardo dovuto al flusso rispetto al tempo di percorrenza a rete scarica. Quando il flusso raggiunge la capacità $q = c \cdot q_{\max}$ si ottiene un tempo di percorrenza $t = (1+a) \cdot t_0$;

b rappresenta l'indice dell'elasticità del tempo rispetto al flusso ed è strettamente legato alle caratteristiche geometriche della strada. Al crescere di b la curva che rappresenta la funzione di deflusso tende ad appiattirsi nella prima parte per poi crescere rapidamente quando il termine $\frac{q}{c \cdot q_{\max}}$ tende ad 1.

Quindi a valori elevati di b corrispondono strade per cui il tempo di percorrenza rimane sostanzialmente costante fino a valori di flusso pari al 70-80% della capacità per poi crescere rapidamente per valori prossimi alla capacità. Questo è il comportamento

tipico di strade con elevate caratteristiche funzionali, come le autostrade.

Di seguito le Figure 2-1 riportano alcuni esempi di Funzioni di Costo con diversi valori dei parametri a e b

Curve di deflusso con $b=4$

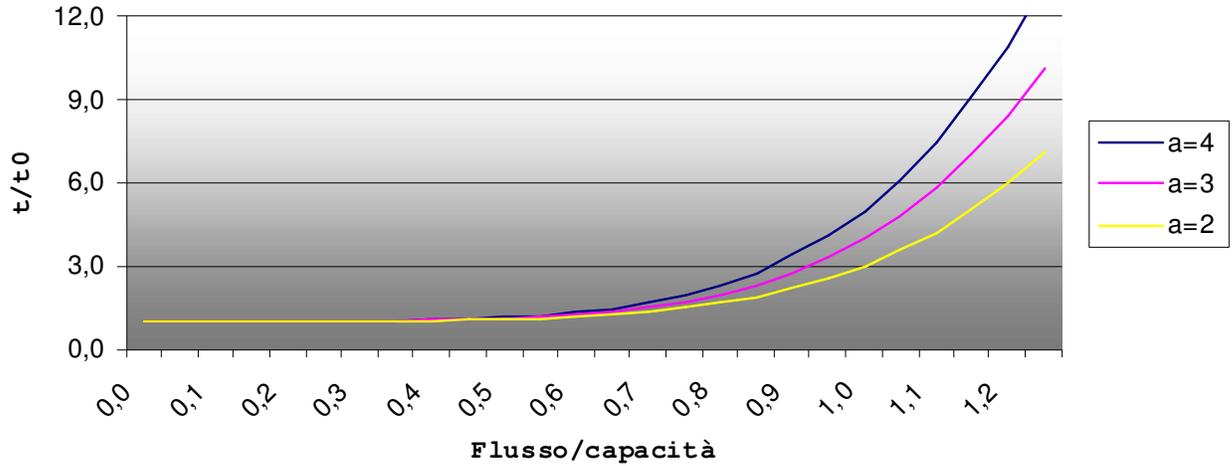


Figura 2-1-1 con $b = 4$

Curve di deflusso con $a=4$

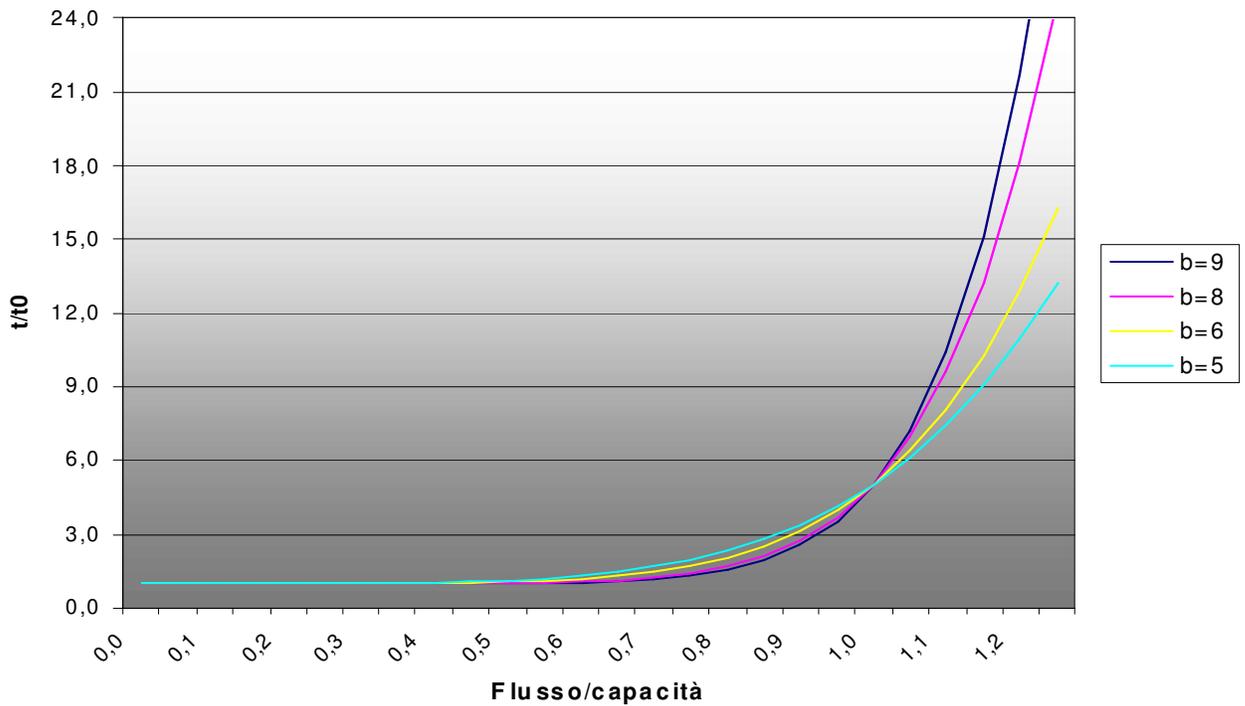


Figura 2-1-2 con $a = 4$

2.4 Assegnazione dei flussi alla rete

La fase finale della costruzione di un modello di simulazione è l'assegnazione della domanda di trasporto alla rete, che consiste nel calcolo dell'equilibrio che si instaura tra domanda ed offerta di trasporto dando appunto luogo ad una configurazione di flussi veicolari in rete secondo il noto principio di Wardrop. Ciò consegue dall'assegnazione della matrice Origine/Destinazione alla rete in cui siano state definite le prestazioni di ciascun elemento del sistema di offerta (archi della rete di trasporto) e della conseguente definizione degli itinerari utilizzati dagli utenti per ciascuna coppia O/D.

Le procedure di assegnazione permettono di calcolare:

- i volumi di traffico su nodi, archi e linee di trasporto pubblico;
- gli indicatori che descrivono la qualità del servizio tra zone di traffico.

Nel progetto della nuova "San Carlo" tale procedimento è stato attuato utilizzando il software VISUM che prevede diversi metodi di assegnazione per il trasporto privato e pubblico, differenti per l'input di dati richiesto e per il tempo di calcolo necessario. Per l'assegnazione del TRASPORTO INDIVIDUALE VISUM dispone di tre procedure base: incrementale, all'equilibrio, ad apprendimento stocastico. Tutte le procedure sono applicabili sia ad assegnazioni semplici che multi classe, ossia relative a più segmenti di domanda (veicoli leggeri, pesanti, ecc.).

In particolare il procedimento è iniziato con l'aggiornamento a una matrice O/D preesistente, utilizzando opportuni rilievi di traffico.

2.5 La stima dei flussi di traffico

Sulla base della metodologia sommariamente illustrata nei paragrafi precedenti, la Provincia di Bologna ha effettuato una serie di operazioni per pervenire alla stima dei flussi di traffico (soprattutto in termini previsionali) non solo sulla nuova "San Carlo" ma anche sulla rete in qualche misura interessata alla nuova infrastruttura. Come si è già accennato il procedimento di stima è stato supportato dall'uso del software VISUM (vedi allegato B).

Le operazioni effettuate dalla Provincia, nel seguito sommariamente descritte, hanno riguardato:

- la ricostruzione della matrice O/D;
- l'assegnazione di flussi alla rete con verifica di congruità fra flussi simulati e rilevati ;
- la previsione dei flussi al 2011.

Ricostruzione della matrice O/D.

Per la ricostruzione della matrice O/D dell'area interessata alla nuova arteria sono state utilizzate le seguenti banche dati:

- matrici O/D dell'ora di punta del mattino impiegate nell'ambito della redazione dello "Studio di Fattibilità del Passante Nord" (stato reale 2003 e futuro 2011 per i veicoli leggeri e per i mezzi pesanti), qui non riportati per semplicità;
- rilievi con apparecchi conta traffico su 7 sezioni e manuale su un'altra sezione eseguite dall'ufficio Settore Progettazione e Costruzioni Stradali della Provincia di Bologna.

I rilievi sono stati effettuati nelle sezioni stradali sotto indicate e riportate in Figura 2-2, dall'Ufficio Settore Progettazione e Costruzioni Stradali della Provincia di Bologna, dal 7 al 10 aprile 2003 per 24

ore consecutive, utilizzando contatori a tubi pneumatici collegati a delle macchine elettroniche di conteggio Marksman 660. I dati del conteggio sono stati memorizzati per intervallo di rilevazione di 1 ora distinti per senso di marcia e per classe di veicolo (due sole classi: leggeri e pesanti).

- sez 1 SP 3 "Trasversale di Pianura" Km 16+000
- sez 2 SP 253 "San Vitale" Km 22+000
- sez 3 SP 19 "San Carlo" Km 5+700
- sez 4 SP 19 "San Carlo" Km 2+850
- sez 5 SP 253 "San Vitale" Km 28+000
- sez 6 intersezione SP3-SP29
- sez 7 SP 31 "Colunga" Km 16+000
- sez 8 SP 29 "Medicina - S. Antonio di Quaderna" Km 0+300

In particolare i dati di traffico relativi alla sezione 6, intersezione fra SP 3 Trasversale di Pianura e SP 29 Medicina/S. Antonio di Quaderna effettuati con conteggio manuale, hanno riguardato soltanto l'intervallo orario 7.00-9.00; tali dati quindi non sono stati considerati per l'individuazione della fascia oraria maggiormente critica.

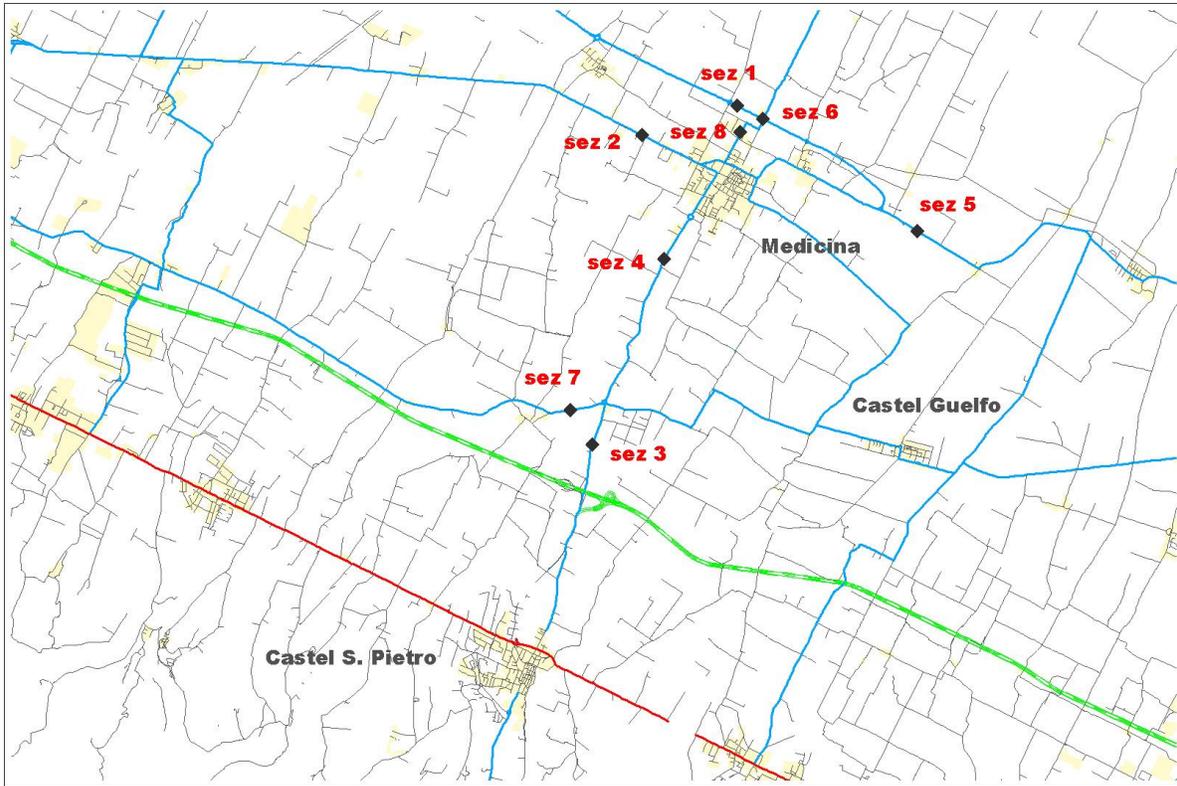


Figura 2-2. Ubicazione delle sezioni di rilievo.

Nella pagina successiva, a titolo di esempio, si riporta il grafico relativo alla sezione 3 rappresentativo dell'andamento orario dei veicoli distinti per direzione di marcia (vedi Figura 2-3); tutti gli altri sono riportati in Allegato C.

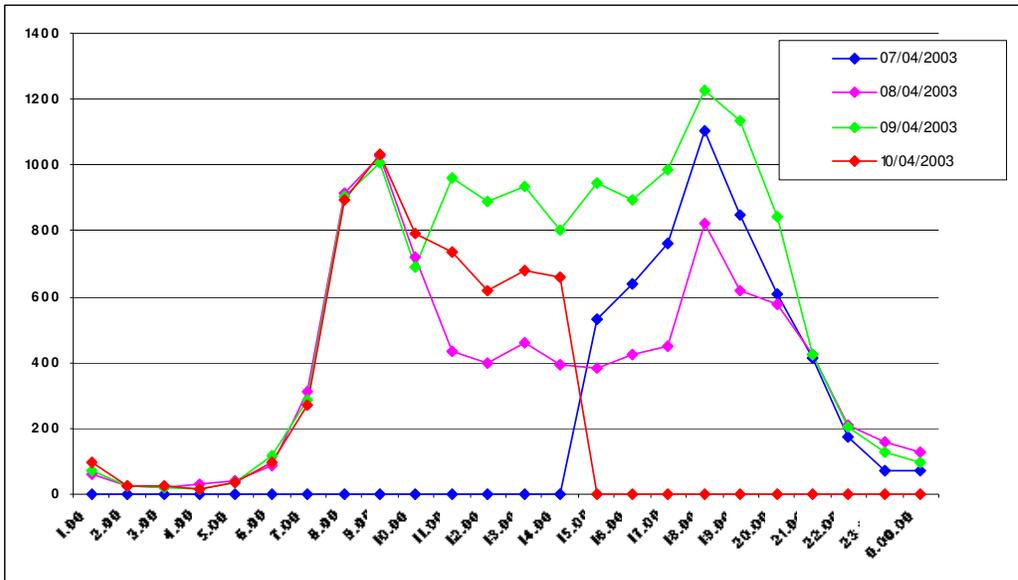


Figura 2-3-1. Flussi orari sezione 3 direzione Castel S. Pietro

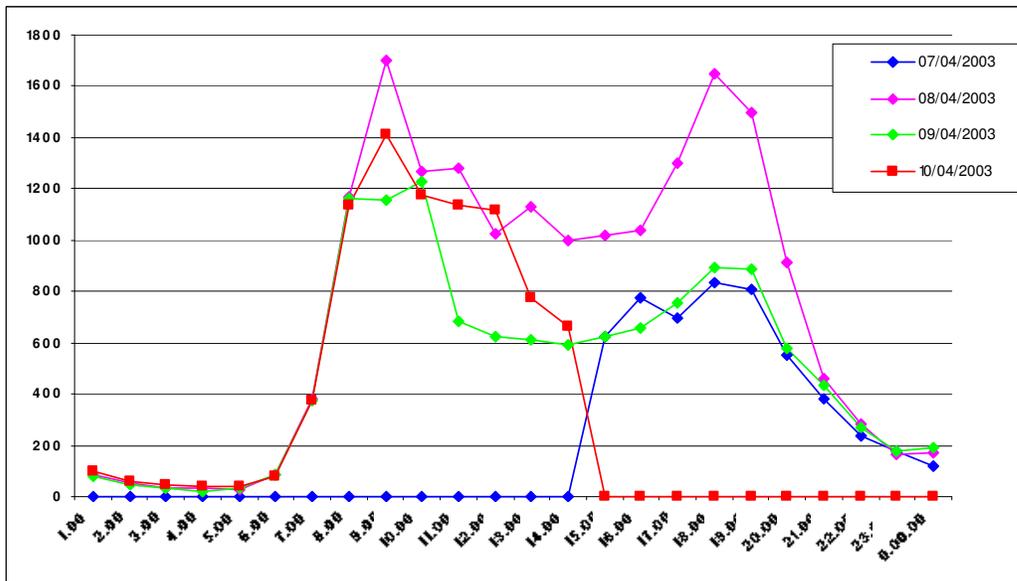


Figura 2-3-2. Flussi orari sezione 3 direzione Medicina

Dall'analisi dei grafici è possibile affermare che l'intera area è interessata da una componente di traffico pendolare: le curve di distribuzione oraria presentano un picco di domanda o nella fascia tra le 7:00 e le 9:00 o nella fascia tra le 17:00 e le 19:00; Inoltre nelle fasce di punta l'andamento delle curve è equivalente per le tre giornate di rilievo.

A tutto questo fa però eccezione la sezione 3, ubicata nel tratto compreso fra l'autostrada e la via Colunga, che in direzione Medicina presenta dei flussi nell'ora di punta che variano da un minimo di 1100 veicoli rilevati il 9/04/2003 ad un massimo di 1700 nella giornata dell'8/04/2003. I flussi veicolari su questa sezione non sono interessati esclusivamente ad un traffico pendolare, ma risentono della presenza della zona industriale e del casello autostradale.

Il confronto fra le diverse curve di distribuzione oraria dei flussi giornalieri ha permesso di individuare nell'intervallo 7.00-9.00 la fascia maggiormente critica.

Per la calibrazione della domanda nell'area oggetto di studio sono state utilizzate le medie dei veicoli leggeri e dei veicoli pesanti, calcolate rispetto alle due ore dell'intervallo 7.00-9.00 e alle tre giornate di rilievo: tali valori sono riportati in Tabella 2-1.

In particolare, facendo riferimento alle sezioni 3 e 4 poste sulla preesistente SP19 "San Carlo", si presenta la situazione di cui alla Tabella 2-2, i cui dati torneranno utili in sede di valutazione del Livello di Servizio.

Sezione	Direzione	Leggeri	Pesanti	% Pesanti
1	Budrio	348	26	7%
1	Medicina	195	47	19%
2	Bologna	634	84	12%
2	Medicina	261	49	16%
3	Castel S. Pietro	809	153	16%
3	Medicina	1092	198	15%
4	Medicina	428	52	11%
4	Castel S. Pietro	187	47	20%
5	Bologna	358	27	7%
5	Ravenna	161	32	17%
7	Bologna	540	66	11%
7	Castel Guelfo	274	40	13%
8	Medicina	170	17	9%
8	S. Antonio	135	17	11%

Tabella 2-1 Flussi medi orari rilevati

Sezione	Direzione	Leggeri	Pesanti	Totale	% Pesanti	% Direzione C.S. Pietro
3	C.S. Pietro	809	153	962	16%	43%
	Medicina	1092	198	1290	15%	
	Totale	1901	351	2252	16%	
4	C.S. Pietro	187	47	234	20%	33%
	Medicina	428	52	480	11%	
	Totale	615	99	714	14%	

Tabella 2-2 Flussi rilevati sulla vecchia SP 19 "San Carlo"

L'ora di punta per la sezione 3 ha fornito un valore di 2603 veicoli/h (figure 2-3): pertanto può essere assunto un PHF (Peak Hour Factor = fattore di punta) pari a 0,87.

Assegnazione dei flussi alla rete

Con i dati di traffico rilevati e attraverso un processo iterativo che prevede i seguenti passi:

- assegnazione della matrice O/D preesistente alla rete esistente,
- verifica della corrispondenza fra flussi rilevati e flussi assegnati,
- correzione della matrice O/D,
- nuova assegnazione e nuova verifica.

Si perviene alla domanda O/D definitiva, che può essere assegnata alla rete esistente.

La verifica della corrispondenza fra flussi rilevati e flussi assegnati è stata effettuata mediante correlazione statistica fra i due insiemi, come illustrato nelle Figure 2-4 e 2-5.

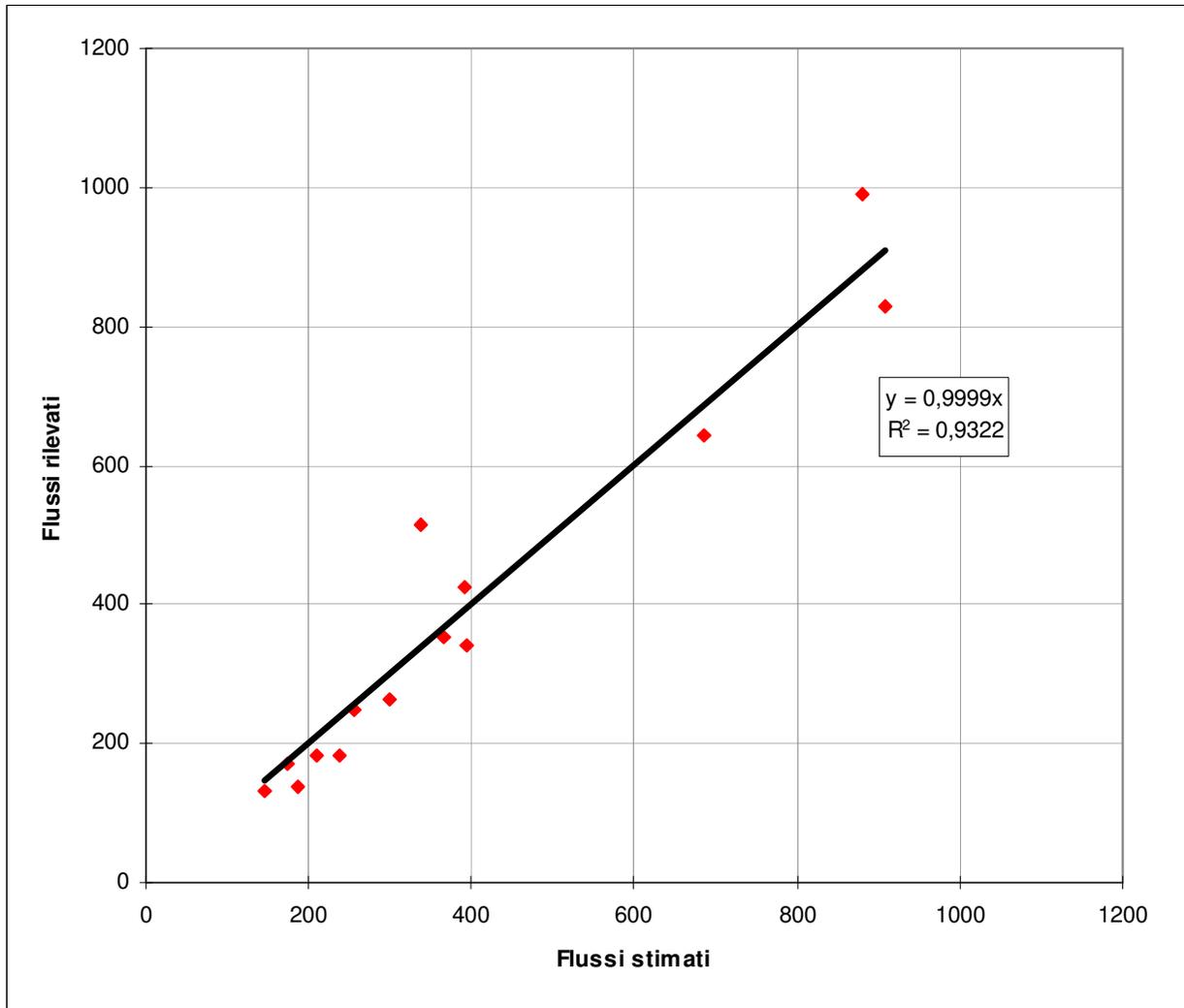


Figura 2-4. Correlazione tra flussi stimati da modello e flussi rilevati per veicoli leggeri

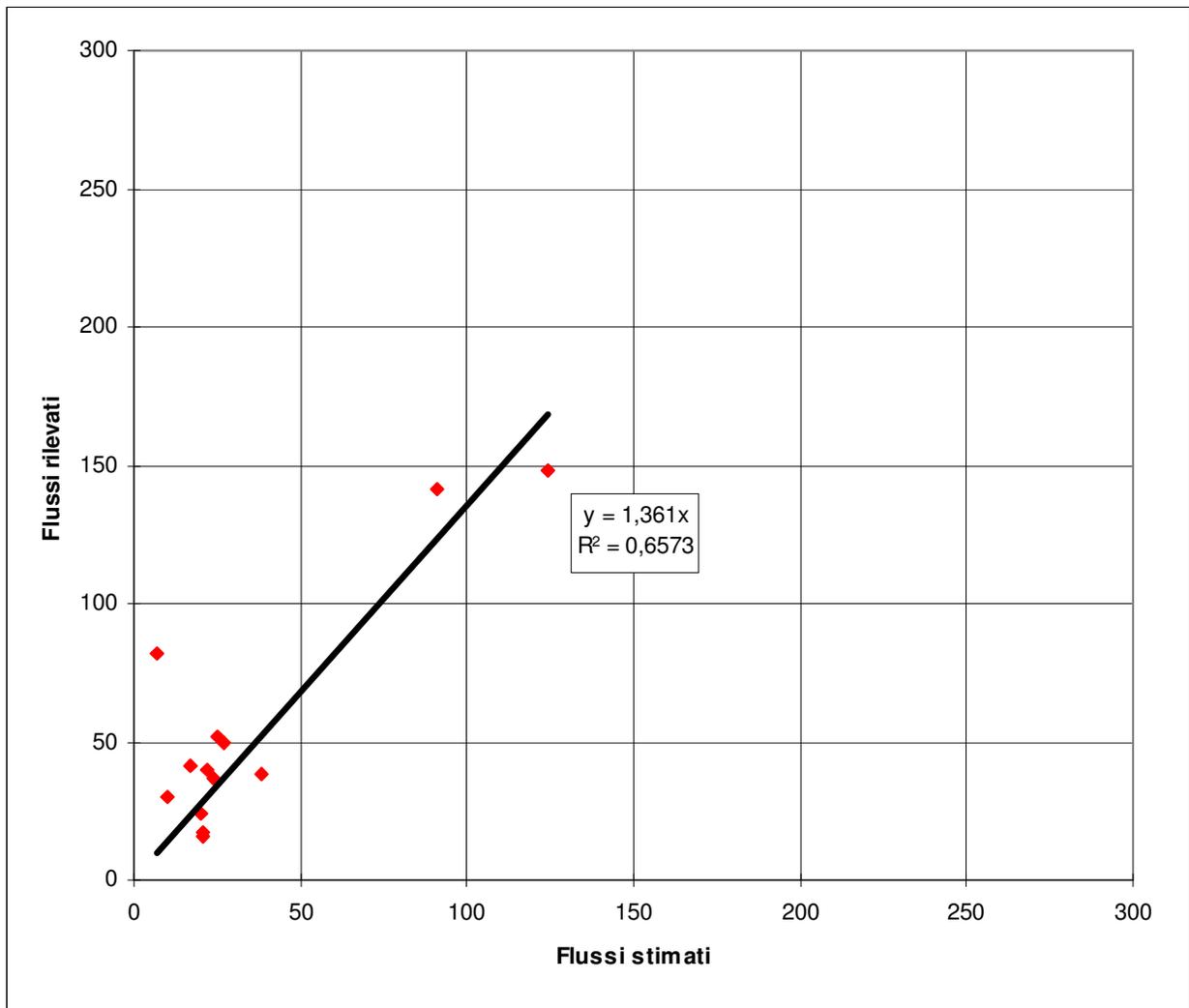


Figura 2-5. Correlazione tra flussi stimati da modello e flussi rilevati per veicoli pesanti

Si nota una forte corrispondenza tra i valori stimati dal modello e quelli realmente rilevati sugli archi.

Preso atto di ciò, si conclude che i flussi assegnati alla rete nella nuova configurazione, comprendente la nuova SP 19 "San Carlo", presentano un alto grado di affidabilità, utilizzabili quindi per la verifica del Livello di Servizio della strada.

Previsione dei flussi al 2011

Sulla base dei risultati precedenti è stata avanzata una ipotesi di crescita dei flussi al 2011, desunta dalle stime effettuate in sede di stesura del PRIT 98 (Piano Regionale Integrato dei Trasporti) che indicano un tasso medio di crescita dei flussi pari all'1,5% annuo.

Sono stati pertanto stimati i flussi di traffico orari medi al 2011 sulla nuova "San Carlo", come riportato in Tabella 2-3.

Il fattore di punta e la ripartizione per direzione (non esplicitata in sede di simulazione) sono stati assunti sulla base di quelli precedentemente riscontrati.

Per quanto riguarda invece le % dei veicoli pesanti, si prende atto che il relativo coefficiente di correlazione R^2 (vedi Figura 2-5) è piuttosto basso (0,6573) per cui si deve dedurre una sottostima del flusso dei veicoli pesanti. Pertanto nella Tabella 2-3 tale flusso e relative percentuali sono state adeguatamente aumentate, rispetto ai valori scaturiti della simulazione.

In definitiva con i dati disponibili è ora possibile stimare il Livello di Servizio della nuova strada, classificata come C1 (DM 5/11/2001) ed assimilabile ad una "Two Lane Highway Class I" secondo il manuale HCM 2000.

Posizione	Leggeri	Pesanti	Totale	% Pesanti	% Direzione C.S. Pietro
SP 19 "San Carlo" fino diramazione nuovo asse	1781	194	1975	10%	40%
SP 19 "San Carlo" fino al raccordo tra le due rotonde da Poggio Piccolo	1500	167	1667	10%	40%
SP 19 "San Carlo" fino al raccordo SP "San Vitale"	948	102	1050	10%	30%
SP 19 "San Carlo" tra SP "San Vitale" e Trasversale di Pianura	664	72	736	10%	30%

Tabella 2-3 Flussi orari previsti sulla nuova SP "San Carlo" al
2011

CAPITOLO 3. STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO DELLA NUOVA SAN CARLO

3.1 Concetti generali

Secondo l'HCM 2000 lo studio della circolazione stradale può essere separato in due parti:

- studio della circolazione su infrastrutture a flusso ininterrotto;
- studio della circolazione su infrastrutture a flusso interrotto.

Le condizioni di flusso ininterrotto si presentano sugli archi autostradali e archi stradali extraurbani, dove le condizioni di deflusso dipendono unicamente da interazioni fra veicoli appartenenti alla stessa corrente. Casi tipici sono appunto:

- autostrade, superstrade e simili, dove non esistono interferenze dall'esterno (svincoli a livelli sfalsati);
- le reti stradali extraurbane, dove, in generale, il comportamento delle correnti sull'arco non risente degli eventuali disturbi dovuti ad immissioni/emissioni di altre correnti, data la notevole distanza fra le intersezioni.

Le condizioni di flusso interrotto sono tipiche nelle intersezioni a raso di qualsiasi tipo e regime di controllo, dove le condizioni di deflusso dipendono dalle interferenze fra correnti antagoniste, con reciproca parzializzazione temporale (interruzione) di uso dell'infrastruttura. Caso tipico:

- reti urbane data la numerosità e breve distanza dalle intersezioni.

In entrambi i casi le condizioni di deflusso sono caratterizzate e misurabili da variabili tipiche:

- portata, espressa in veicoli/ora;
- densità, espressa in veicoli/Km;
- velocità, espressa in Km/ora;
- tempi di ritardo, espressi in secondi/veicoli.

L'HCM fornisce poi le seguenti definizioni di validità generale:

Capacità: massimo numero di veicoli (ovvero portata massima) che possono transitare in una generica sezione dell'infrastruttura (sezione di arco o sezione di accesso al nodo) in un dato periodo temporale, in prefissate condizioni di strada, traffico e regime di controllo: l'HCM definisce delle condizioni ideali per ciascuna infrastruttura.

Livelli di Servizio (LOS: Level of Service) : misura qualitativa dell'infrastruttura che indica, nella pratica, l'insieme di vari parametri oggettivi di circolazione e di funzionamento dell'insieme strada-veicolo così come vengono percepiti dall'utente (velocità, tempi di percorrenza, interruzioni e ritardi, libertà di manovra, sicurezza, economia e confort).

L'HCM ha fissato 6 classi di LOS:

- A: la strada viene attraversata da un volume di traffico basso e gli utenti non subiscono interferenze alla propria marcia ed hanno elevate possibilità di scelta delle velocità desiderate (libere); il comfort è notevole. E' la migliore qualità di servizio.

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

Sotto il profilo quantitativo le classi di LOS vengono definite da prefissati valori di variabili tipiche esprimenti le condizioni di flusso ininterrotto e di flusso interrotto.

Nel presente caso trattasi di valutare il LOS di una infrastruttura a flusso ininterrotto costituita da una strada di categoria C1, suddivisa in 4 tronchi (come da Tabella 2-3) con il carico veicolare indicato nella stessa tabella.

Peraltro osservando la planimetria di Figura 1-2 e Figura 1-3, si nota in particolare il sistema di svincolo con la SP 31 Colunga, costituito da due rotatorie, di cui una già esistente e l'altra realizzata contestualmente alla nuova strada.

Quindi devono essere applicati i concetti relativi al flusso interrotto per questo particolare nodo.

3.2 Stima del LOS della nuova SP 19 "San Carlo"

Come detto in precedenza la nuova SP 19 "San Carlo" è definita TWO LANE HIGHWAYS.

L'HCM suddivide tali strade in due categorie:

- CLASS I. Strade a carattere intercity, caratterizzate da buone caratteristiche geometriche (riferibili alla Categoria C del DM 5/11/2001), congiungenti rilevanti generatori di traffico passeggeri e merci, a medie distanze, con utenti prevalentemente pendolari, con ATS relativamente alta, pur dovendo "spendere" tempo in accodamento (PTFS) in attesa di compiere i sorpassi necessari per mantenere tale velocità.

Le variabili esprimenti il LOS sono appunto ATS (velocità media di viaggio) e PTFS (% di tempo in coda).

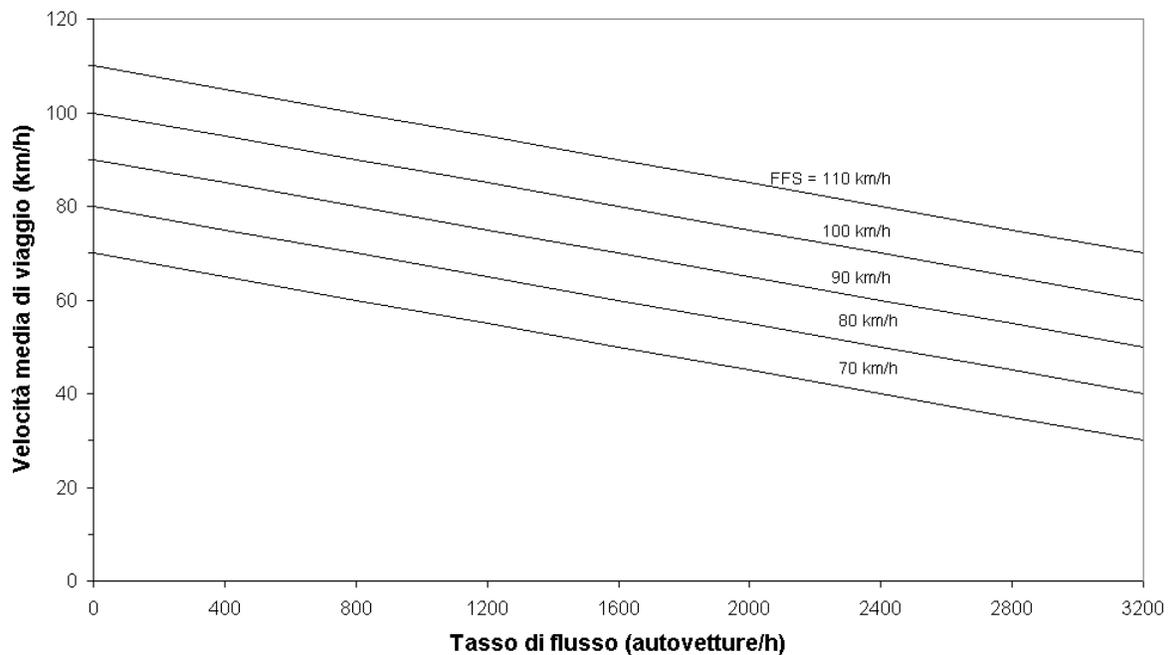
- CLASS II. Strade a carattere prevalentemente locale, con caratteristiche geometriche inferiori (Categoria E, F) congiungenti strade della Class I, o località a brevi distanze, o zone orograficamente difficili, con utenti pendolari locali, con velocità notevolmente bassa ed elevata quota di tempo in accodamento.

La variabile esprimente il LOS è solo PTFS.

LOS		A	B	C	D	E
CLASS I	PTFS %	< 35	35-50	50-65	65-80	> 80
	ATS	> 90	80-90	70-80	60-70	< 60
CLASS II	PTFS %	< 40	40-55	55-70	70-85	> 85

Tabella 3-1. Criterio per LOS per Two Lane Highways (TLH)

Il LOS è F se il tasso di flusso supera la capacità.



Calcolo del LOS Two Lane Highways Class I

Le condizioni ideali di strada per questa categoria sono:

- Corsie di almeno ml 3,60
- Larghezza delle banchine maggiore di ml 1,80
- Terreno pianeggiante: consente ai veicoli pesanti di mantenere la stessa velocità delle autovetture.
- Nessun divieto di sorpasso: zero % NO PASSING ZONE (npz)

Le condizioni ideali di traffico e controllo per questa categoria di strada sono:

- Traffico composto di sole autovetture
- Nessun tipo di controllo del traffico (esempio semafori) e assenza di svolte
- Ripartizione del flusso al 50% nelle due direzioni

La velocità in condizioni di flusso libero è:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

BFFS = velocità in condizioni di flusso libero in condizioni base

f_{LS} = Coefficiente riduttivo per banchine laterali

f_A = Coefficiente riduttivo per numero d'intersezioni al Km

FATTORE DI ADEGUAMENTO FLS PER DIMENSIONI CORSIA E BANCHINA				
Dimensioni Corsia	Coefficiente di riduzione FSS			
	Dimensioni banchina			
	0.0/0.6	0.6/1.2	1.2/1.8	> 1.8
2.7/3.0	10.3	7.7	5.6	3.5
3.0/3.3	8.5	5.9	3.8	1.7
3.3/3.6	7.5	4.9	2.8	0.7
> 3.6	6.8	4.2	2.1	0.0

Tabella 3-2

FATTORE DI ADEGUAMENTO f_A PER NUMERO DI PUNTI DI ACCESSO					
Punti di Accesso per Km	0	6	12	8	> 24
Coefficiente di riduzione FSS	0	4	8	12	16

Tabella 3-3

Il tasso di flusso è:

$$v_p = V / (PHF * f_G * f_{HV})$$

v_p = tasso di flusso in autovetture equivalenti nel quarto d'ora più caricato (autovetture/h)

V = volume dell'ora di punta (veicoli/h)

PHF = fattore dell'ora di punta

f_G = Fattore correttivo per pendenza

f_{HV} = Fattore correttivo per veicoli pesanti

FATTORE DI ADEGUAMENTO f_G per effetto della pendenza longitudinale		FATTORE DI ADEGUAMENTO f_{HV} per effetto della presenza di veicoli pesanti		
Intervallo di tassi di flusso bidirezionali v_p (autovetture/h)	TIPO DI TERRENO		TIPO DI TERRENO	
	Pianeggiante	Ondulati	Pianeggiante	Ondulati
0-600	1.0	0.71	1.7	2.5
600-1200	1.0	0.93	1.2	1.9
> 1200	1.0	0.99	1.1	1.5

Tabella 3-4

La velocità media si calcola:

$$ATS = FFS - 0,0125 \cdot v_p - f_{npz}$$

ATS = velocità media di viaggio nelle due direzioni (Km/h)

FFS = velocità in condizioni di flusso libero (Km/h)

f_{npz} = Coefficiente riduttivo per il sorpasso impedito

La velocità media di viaggio decresce con l'aumentare del flusso a causa dei maggiori condizionamenti tra veicoli e la ridotta possibilità di sorpasso. La procedura HCM assume che la velocità media decresce linearmente con l'aumentare del tasso di flusso complessivo nei due sensi di marcia. La velocità a flusso libero può variare tra 60 e 100 Km/h in relazione alle caratteristiche del tracciato.

FATTORE DI ADEGUAMENTO f_{np}						
Tasso di flusso Bidirezionale v_p (autovetture/h)	Riduzione della velocità media di viaggio (Km/h)					
	% di tracciato con sorpasso impedito					
	0	20	40	60	80	100
0	0	0	0	0	0	0
200	0	1.0	2.3	3.8	4.2	5.6
400	0	2.7	4.3	5.7	6.3	7.3
600	0	2.5	3.8	4.9	5.5	6.2
800	0	2.2	3.1	3.9	4.3	4.9
1000	0	1.8	2.5	3.2	3.6	4.2
1200	0	1.3	2.0	2.6	3.0	3.4
1400	0	0.9	1.4	1.9	2.3	2.7
1600	0	0.9	1.3	1.7	2.1	2.4
1800	0	0.8	1.1	1.6	1.8	2.1
2000	0	0.8	1.0	1.4	1.6	1.8
2200	0	0.8	1.0	1.4	1.5	1.7
2400	0	0.8	1.0	1.3	1.5	1.7
2600	0	0.8	1.0	1.3	1.4	1.6
2800	0	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4
3000	0	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3
3200	0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1

Tabella 3-5

Percentuale di tempo in coda:

$$PTFS = BPTFS + f_{d/npz}$$

$$BPTFS = 100 (1 - e^{-0.000879 v_p})$$

$f_{d/npz}$ = Coefficiente riduttivo per l'effetto combinato della distribuzione del traffico e del sorpasso impedito

FATTORE DI ADEGUAMENTO f_d/n_p PER L'EFFETTO COMBINATO DELLA DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DI TRAFFICO E DELLA % DI ZONE DI NON SORPASSO IN PROPORZIONE AL TEMPO SPESO DI PERCORRENZA						
Tasso di flusso Bidirezionale v_p (autovetture/h)	Incremento del tempo speso in coda					
	% di tracciato con sorpasso impedito					
	0	20	40	60	80	100
DIVISIONE DIREZIONALE = 50/50						
< 200	0	10.1	17.2	20.2	21.0	21.8
400	0	12.4	19.0	22.7	23.8	24.8
600	0	11.2	16.0	18.7	19.7	20.5
800	0	9.0	12.3	14.1	14.5	15.4
1400	0	3.6	5.5	6.7	7.3	7.9
2000	0	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
2600	0	1.1	1.6	2.0	2.3	2.4
3200	0	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4
DIVISIONE DIREZIONALE = 60/40						
< 200	1.6	11.8	17.2	22.5	23.1	23.7
400	0.5	11.7	16.2	20.7	21.5	22.2
600	0.0	11.5	15.2	18.9	19.8	20.7
800	0.0	7.6	10.3	13.0	13.7	14.4
1400	0.0	3.7	5.4	7.1	7.6	8.1
2000	0.0	2.3	3.4	3.6	4.0	4.3
> 2600	0.0	0.9	1.4	1.9	2.1	2.2
DIVISIONE DIREZIONALE = 70/30						
< 200	2.8	13.4	19.1	24.8	25.2	25.5
400	1.1	12.5	17.3	22.0	22.6	23.2
600	0.0	11.6	15.4	19.1	20.0	20.9
800	0.0	7.7	10.5	13.3	14.0	14.6
1400	0.0	3.8	5.6	7.4	7.9	8.3
> 2000	0.0	1.4	4.9	3.5	3.9	4.2

DIVISIONE DIREZIONALE = 80/20						
< 200	5.1	17.5	24.3	31.0	31.3	31.6
400	2.5	15.8	21.5	27.1	27.6	28.0
600	0.0	14.0	18.6	23.2	23.9	24.5
800	0.0	9.3	12.7	16.0	16.5	17.0
1400	0.0	4.6	6.7	8.7	9.1	9.5
> 2000	0.0	2.4	3.4	4.5	4.7	4.9
DIVISIONE DIREZIONALE = 90/10						
< 200	5.6	21.6	29.4	37.2	37.4	37.6
400	2.4	19.0	25.6	32.2	32.5	32.8
600	0.0	16.3	21.8	27.2	27.6	28.0
800	0.0	10.9	14.8	18.6	19.0	19.4
> 1400	0.0	5.5	7.8	10.0	10.4	10.7

Tabella 3-6

Il LOS è definito in termini di tempo speso in coda al seguito di veicoli più lenti e la metodologia HCM impone di valutare prima di tutto il volume veicolare di riferimento v_p , che risulta dalla somma dei flussi orari equivalenti stimati in entrambe le direzioni maggiorati di un fattore $1/PHF$ destinato a stimare il picco massimo nei 15 minuti. Nel caso specifico si è assunto nel calcolo un valore PHF pari a 0,88 che comporta una maggiorazione di circa il 14% del flusso medio orario, così come raccomandato dall'HCM stesso.

Il valore del volume veicolare così stimato viene utilizzato per computare il valore base della % di tempo speso in coda in condizioni ideali. Da questo si deduce il valore definitivo apportando opportuni correttivi che tengono conto :

- Effettiva distribuzione delle portate fra le due direzioni di marcia
- % di zone di non sorpasso

I dati di ingresso per la stima del LOS della nostra arteria sono di seguito riassunti:

- Lunghezza ml 7.271
- Larghezza sezioni ml 7,50
- 2 banchine di larghezza ml 2,00
- 1 corsia per ogni senso di marcia
- % di non sorpasso 60%

Con tali dati, utilizzando il software HCS 2000, che è la traduzione informatica di HCM 2000, otteniamo la verifica del LOS per la nostra infrastruttura che è stata suddivisa in quattro tratti:

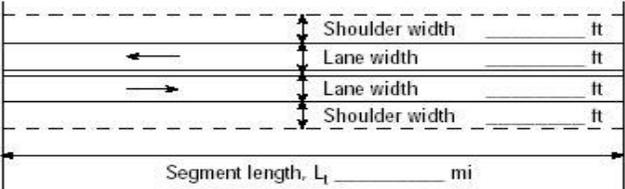
- 1^tratto Castel San Pietro Terme - Nuovo Asse
- 2^tratto "San Carlo" - Poggio Piccolo
- 3^tratto Poggio Piccolo-San Vitale
- 4^tratto "San Vitale" - "Trasversale Pianura"

TWO-WAY TWO-LANE HIGHWAY SEGMENT WORKSHEET	
General Information	Site Information
Analyst: Stivani Jessica Date Performed: 07/12/2009 Analysis Time Period: 1 ora	Highway: Nuova SP 19 San Carlo From/To: 1^tratto Castel San P. T. - Nuovo Asse Analysis Year: 2011
Input Data	
	<input checked="" type="checkbox"/> Class I <input type="checkbox"/> Class II Terrain <input checked="" type="checkbox"/> Level <input type="checkbox"/> Rolling Two-way hourly volume 1975 veh/h Directional split 60 / 40 Peak-hour factor, PHF 0,88 No-passing zone 80 % Trucks and Buses , PT 10 % % Recreational vehicles, PR 0% Access points/ km 0
Average Travel Speed	
Grade adjustment factor, fG (Exhibit 20-7)	1.00
Passenger-car equivalents for trucks, ET (Exhibit 20-9)	1.2
Passenger-car equivalents for RVs, ER (Exhibit 20-9)	1.0
Heavy-vehicle adjustment factor, fHV fHV=1/ (1+ PT(ET-1)+PR(ER-1))	0.980
Two-way flow rate ¹ , vp (pc/h) vp=V/ (PHF * fG * fHV)	2014
vp * highest directional split proportion ² (pc/h)	1208
Field Measured speed, SFM km/h Observed volume, Vf veh/h Free-flow speed, FFS 90.0 km/h FFS=SFM+0.00776(Vf/ fHV)	Base free-flow speed, BFFSFM 90.0 km/h Adj. for lane width and shoulder width ³ , fLS (Exhibit 20-5) 0.0km/h Adj. for access points, fA (Exhibit 20-6) 0.0 km/h Free-flow speed, FFS (FSS=BFFS-fLS-fA) 90.0 km/h
Adj. for no-passing zones, fnp (km/h) (Exhibit 20-11)	1.6
ATS (km/h) ATS=FFS-0.00776vp-fnp	63.2
Percent Time-Spent-Following	
Grade Adjustment factor, fG (Exhibit 20-8)	1.00
Passenger-car equivalents for trucks, ET (Exhibit 20-10)	1.00
Passenger-car equivalents for RVs, ER (Exhibit 20-10)	1.00
Heavy-vehicle adjustment factor, fHV fHV=1/ (1+ PT(ET-1)+PR(ER-1))	1.00
Two-way flow rate ¹ , vp (pc/h) vp=V/ (PHF * fG * fHV)	1975
vp * highest directional split proportion ² (pc/h)	1185
Base percent time-spent-following, BPTSF(%) BPTSF=100(1-e ^{-0.000879vp})	82.4
Adj. for directional distribution and no-passing zone, fd/hp(%) (Exh. 20-12)	4.2
Percent time-spent-following, PTSF(%) PTSF=BPTSF+f d/np	76.5
Level of Service and Other Performance Measures	
Level of service, LOS (Exhibit 20-3 for Class I or 20-4 for Class II)	D
Volume to capacity ratio v/c v/c=Vp/ 3,200	0.63
Peak 15-min veh-miles of travel, VMT15 (veh- km) VMT15= 0.25Lt(V/PHF)	1481
Peak-hour vehicle-miles of travel, VMT60 (veh- km) VMT60=V*Lt	5925
Peak 15-min total travel time, TT15(veh-h) TT15= VMT15/ATS	13.4

TWO-WAY TWO-LANE HIGHWAY SEGMENT WORKSHEET

General Information	Site Information
Analyst: Stivani Jessica Date Performed: 07/12/2009 Analysis Time Period: 1 ora	Highway: Nuova SP 19 San Carlo From/To: 2^tratto Nuova San Carlo -Poggio Piccolo Analysis Year: 2011

Input Data

 <p style="text-align: center;">Segment length, L_t _____ mi</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> <input checked="" type="checkbox"/> Class I <input type="checkbox"/> Class II </div> <div style="text-align: center;"> <input checked="" type="checkbox"/> Level <input type="checkbox"/> Rolling </div> </div> <p>Terrain</p> <div style="text-align: center;">  Show North Arrow </div> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Two-way hourly volume</td> <td style="text-align: right;">1670 veh/h</td> </tr> <tr> <td>Directional split</td> <td style="text-align: right;">60 / 40</td> </tr> <tr> <td>Peak-hour factor, PHF</td> <td style="text-align: right;">0.88</td> </tr> <tr> <td>No-passing zone</td> <td style="text-align: right;">80</td> </tr> <tr> <td>% Trucks and Buses, P_T</td> <td style="text-align: right;">10 %</td> </tr> <tr> <td>% Recreational vehicles, P_R</td> <td style="text-align: right;">0%</td> </tr> <tr> <td>Access points/ km</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> </table>	Two-way hourly volume	1670 veh/h	Directional split	60 / 40	Peak-hour factor, PHF	0.88	No-passing zone	80	% Trucks and Buses, P_T	10 %	% Recreational vehicles, P_R	0%	Access points/ km	0
Two-way hourly volume	1670 veh/h														
Directional split	60 / 40														
Peak-hour factor, PHF	0.88														
No-passing zone	80														
% Trucks and Buses, P_T	10 %														
% Recreational vehicles, P_R	0%														
Access points/ km	0														

Average Travel Speed

Grade adjustment factor, f_G (Exhibit 20-7)	1.00								
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-9)	1.2								
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-9)	1.0								
Heavy-vehicle adjustment factor $f_{HV}=1/(1+P_T(E_T-1)+P_R(E_R-1))$	0.980								
Two-way flow rate ¹ , v_p (pc/h) $v_p=V/(PHF * f_G * f_{HV})$	1703								
v_p * highest directional split proportion ² (pc/h)	1022								
Field Measured speed, S_{FM} km/h Observed volume, V_f veh/h Free-flow speed, FFS $FFS=S_{FM}+0.00776(V_f/f_{HV})$ 90.0 km/h	<table style="width: 100%;"> <tr> <td>Base free-flow speed, $BFFS_{FM}$</td> <td style="text-align: right;">90.0 km/h</td> </tr> <tr> <td>Adj. for lane width and shoulder width³, f_{LS}</td> <td style="text-align: right;">0.0 km/h</td> </tr> <tr> <td>Adj. for access points, f_A Exhibit 20-6</td> <td style="text-align: right;">0.0 km/h</td> </tr> <tr> <td>Free-flow speed (FSS=$BFFS-f_{LS}-f_A$)</td> <td style="text-align: right;">90.0 km/h</td> </tr> </table>	Base free-flow speed, $BFFS_{FM}$	90.0 km/h	Adj. for lane width and shoulder width ³ , f_{LS}	0.0 km/h	Adj. for access points, f_A Exhibit 20-6	0.0 km/h	Free-flow speed (FSS= $BFFS-f_{LS}-f_A$)	90.0 km/h
Base free-flow speed, $BFFS_{FM}$	90.0 km/h								
Adj. for lane width and shoulder width ³ , f_{LS}	0.0 km/h								
Adj. for access points, f_A Exhibit 20-6	0.0 km/h								
Free-flow speed (FSS= $BFFS-f_{LS}-f_A$)	90.0 km/h								
Adj. for no-passing zones, f_{np} (km/h) (Exhibit 20-11)	1.9								
Average travel speed, ATS (km/h) $ATS=FFS-0.00776v_p-f_{np}$	66.8								

Percent Time-Spent-Following

Grade Adjustment factor, f_G (Exhibit 20-8)	1.00
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-10)	1.00
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-10)	1.00
Heavy-vehicle adjustment factor, f_{HV} $f_{HV}=1/(1+P_T(E_T-1)+P_R(E_R-1))$	1.00
Two-way flow rate ¹ , v_p (pc/h) $v_p=V/(PHF * f_G * f_{HV})$	1670
v_p * highest directional split proportion ² (pc/h)	1002
Base percent time-spent-following, $BPTSF(\%)$ $BPTSF=100(1-e^{-0.000879v_p})$	77.0
Adj. for directional distribution and no-passing zone, $f_{d/np}(\%)(Exh. 20-12)$	6.0
Percent time-spent-following, $PTSF(\%)$ $PTSF=BPTSF+f_{d/np}$	72.9

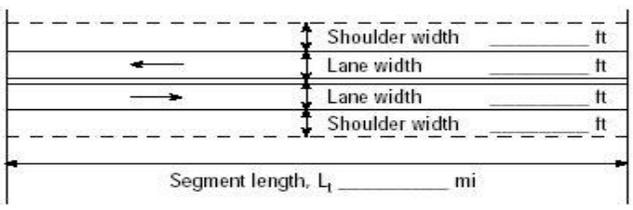
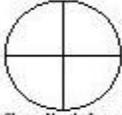
Level of Service and Other Performance Measures

Level of service, LOS (Exhibit 20-3 for Class I or 20-4 for Class II)	D
Volume to capacity ratio v/c $v/c=V_p/3,200$	0.53
Peak 15-min veh-miles of travel, VMT_{15} (veh-km) $VMT_{15}=0.25L_t(V/PHF)$	626
Peak-hour vehicle-miles of travel, VMT_{60} (veh-km) $VMT_{60}=V*L_t$	2505
Peak 15-min total travel time, $TT_{15}(\text{veh-h})$ $TT_{15}=VMT_{15}/ATS$	11.4

TWO-WAY TWO-LANE HIGHWAY SEGMENT WORKSHEET

General Information	Site Information
Analyst: Stivani Jessica Date Performed: 07/12/2009 Analysis Time Period: 1 ora	Highway: Nuova SP 19 San Carlo From/To: 3^tratto Poggio Piccolo-San Vitale Analysis Year: 2011

Input Data

	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> <input checked="" type="checkbox"/> Class I <input type="checkbox"/> Class II </div> <div style="text-align: center;"> <input checked="" type="checkbox"/> Terrain Level <input type="checkbox"/> Rolling </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  Show North Arrow </div> <table style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <tr> <td>Two-way hourly volume</td> <td style="text-align: right;">1050 veh/h</td> </tr> <tr> <td>Directional split</td> <td style="text-align: right;">70 / 30</td> </tr> <tr> <td>Peak-hour factor, PHF</td> <td style="text-align: right;">0.88</td> </tr> <tr> <td>No-passing zone</td> <td style="text-align: right;">50</td> </tr> <tr> <td>% Trucks and Buses, P_T</td> <td style="text-align: right;">10 %</td> </tr> <tr> <td>% Recreational vehicles, P_R</td> <td style="text-align: right;">0%</td> </tr> <tr> <td>Access points/ km</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> </table>	Two-way hourly volume	1050 veh/h	Directional split	70 / 30	Peak-hour factor, PHF	0.88	No-passing zone	50	% Trucks and Buses, P _T	10 %	% Recreational vehicles, P _R	0%	Access points/ km	0
Two-way hourly volume	1050 veh/h														
Directional split	70 / 30														
Peak-hour factor, PHF	0.88														
No-passing zone	50														
% Trucks and Buses, P _T	10 %														
% Recreational vehicles, P _R	0%														
Access points/ km	0														

Average Travel Speed

Grade adjustment factor, f_G (Exhibit 20-7)	1.00
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-9)	1.20
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-9)	1.00
Heavy-vehicle adjustment factor, $f_{HV} = 1 / (1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1))$	0.980
Two-way flow rate ¹ , v_p (pc/h) $v_p = V / (PHF * f_G * f_{HV})$	1071
v_p * highest directional split proportion ² (pc/h)	750
Field Measured speed, S_{FM} km/h Observed volume, V_f veh/h Free-flow speed, $FFS = S_{FM} + 0.00776(V_f / f_{HV})$ 90.0 km/h	Base free-flow speed, $BFFS_{FM}$ 90.0 km/h Adj. for lane width and shoulder width ³ , f_{LS} (Exhibit 20-5) 0.0 km/h Adj. for access points, f_A (Exhibit 20-6) 0.0 km/h Free-flow speed, $FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$ 90.0 km/h
Adj. for no-passing zones, f_{np} (km/h) (Exhibit 20-11)	2.7
Average travel speed, ATS (km/h) $ATS = FFS - 0.00776v_p - f_{np}$	74.0

Percent Time-Spent-Following

Grade Adjustment factor, f_G (Exhibit 20-8)	1.00
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-10)	1.10
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-10)	1.00
Heavy-vehicle adjustment factor, $f_{HV} = 1 / (1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1))$	0.990
Two-way flow rate ¹ , v_p (pc/h) $v_p = V / (PHF * f_G * f_{HV})$	1060
v_p * highest directional split proportion ² (pc/h)	742
Base percent time-spent-following, $BPTSF(\%)$ $BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879v_p})$	60.6
Adj. for directional distribution and no-passing zone, $f_{d/np}(\%)(Exh. 20-12)$	9.6
Percent time-spent-following, $PTSF(\%)$ $PTSF = BPTSF + f_{d/np}$	50.2

Level of Service and Other Performance Measures

Level of service, LOS	C
Volume to capacity ratio v/c $v/c = V_p / 3,200$	0.33
Peak 15-min veh-miles of travel, VMT_{15} (veh- km) $VMT_{15} = 0.25L_1(V/PHF)$	446
Peak-hour vehicle-miles of travel, VMT_{60} (veh- km) $VMT_{60} = V * L_1$	1785
Peak 15-min total travel time, TT_{15} (veh-h) $TT_{15} = VMT_{15}/ATS$	6.0

TWO-WAY TWO-LANE HIGHWAY SEGMENT WORKSHEET	
General Information	Site Information
Analyst: Stivani Jessica Date Performed: 07/12/2009 Analysis Time Period: 1 ora	Highway: Nuova SP 19 San Carlo From/To: 4^tratto San Vitale-Trasversale di Pianura Analysis Year: 2011
Input Data	
<p>Diagram showing a two-way two-lane highway segment. It includes labels for Shoulder width (ft), Lane width (ft), and Segment length, L_t (mi). Arrows indicate traffic flow in both directions.</p>	<input checked="" type="checkbox"/> Class I Terrain <input type="checkbox"/> Class II <input checked="" type="checkbox"/> Level <input type="checkbox"/> Rolling Two-way hourly volume 736 veh/h Directional split 70 / 30 Peak-hour factor, PHF 0,88 No-passing zone 50 % Trucks and Buses, P_T 10 % % Recreational vehicles, P_R 0% Access points/ km 0
Average Travel Speed	
Grade adjustment factor, f_G (Exhibit 20-7)	1.00
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-9)	1.20
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-9)	1.00
Heavy-vehicle adjustment factor, $f_{HV} = 1 / (1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1))$	0.980
Two-way flow rate ¹ , v_p (pc/h) $v_p = V / (PHF * f_G * f_{HV})$	751
v_p * highest directional split proportion ² (pc/h)	526
Field Measured speed, S_{FM} km/h Observed volume, V_f veh/h Free-flow speed, FFS $FFS = S_{FM} + 0.00776(V_f / f_{HV})$ 90.0 km/h	Base free-flow speed, $BFFS_{FM}$ 90.0 km/h Adj. for lane width and shoulder width ³ , f_{LS} (Exhibit 20-5) 0.0 km/h Adj. for access points, f_A (Exhibit 20-6) 0.0 km/h Free-flow speed, FFS $(FSS = BFFS - f_{LS} - f_A)$ 90.0 km/h
Adj. for no-passing zones, f_{np} (km/h) (Exhibit 20-11)	3.7
Average travel speed, ATS (km/h) $ATS = FFS - 0.00776v_p - f_{np}$	76.9
Percent Time-Spent-Following	
Grade Adjustment factor, f_G (Exhibit 20-8)	1.00
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-10)	1.10
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-10)	1.00
Heavy-vehicle adjustment factor, f_{HV} $f_{HV} = 1 / (1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1))$	0.990
Two-way flow rate ¹ , v_p (pc/h) $v_p = V / (PHF * f_G * f_{HV})$	743
v_p * highest directional split proportion ² (pc/h)	520
Base percent time-spent-following, BPTSF(%) $BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879v_p})$	48.0
Adj. for directional distribution and no-passing zone, $f_{d/np}$ (%)(Exh. 20-12)	13.4
Percent time-spent-following, PTSF(%) $PTSF = BPTSF + f_{d/np}$	31.4
Level of Service and Other Performance Measures	
Level of service, LOS	B
Volume to capacity ratio v/c $v/c = V_p / 3,200$	0.23
Peak 15-min veh-miles of travel, VMT_{15} (veh- km) $VMT_{15} = 0.25L_t(V/PHF)$	184
Peak-hour vehicle-miles of travel, VMT_{60} (veh- km) $VMT_{60} = V * L_t$	736
Peak 15-min total travel time, TT_{15} (veh-h) $TT_{15} = VMT_{15}/ATS$	2.4

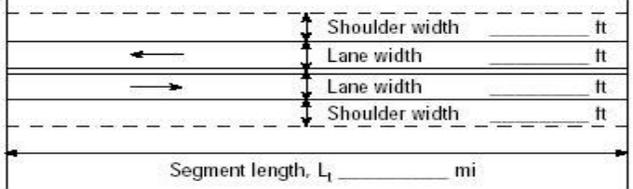
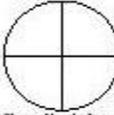
Il livello di servizio assegnato con la metodologia indicata fornisce una misura di quanto gli utenti siano "vincolati" nel selezionare la propria andatura mentre percorrono i vari tronchi: nel caso in esame le manovre di sorpasso (soprattutto nei primi due tratti) risultano molto difficoltose ed i flussi nei due sensi di marcia sono praticamente confinati nella propria corsia.

In queste condizioni di deflusso la percentuale di npz (no passing zone) è poco influente e la velocità media di viaggio (ATS) si colloca fra i 60 ed i 65 km/h.

Il criterio adottato dall'HCM per la definizione del LOS nel caso delle strade a due corsie risente della particolarità di questo tipo di infrastrutture nelle quali i flussi veicolari opposti si influenzano a vicenda e la necessità di adeguare la propria andatura a quella degli altri veicoli aumenta rapidamente al crescere delle portate.

Tale analisi è stata effettuata considerando i flussi previsti al 2011 (Tabella 2-3).

Mettiamo adesso a confronto tale simulazione con i dati effettivamente rilevati sulla viabilità 2003 della vecchia "San Carlo" (Tabella 2-2).

TWO-WAY TWO-LANE HIGHWAY SEGMENT WORKSHEET	
General Information	Site Information
Analyst: Stivani Jessica Date Performed: 07/12/2009 Analysis Time Period: 1 ora	Highway: Vecchia SP 19 San Carlo From/To Castel San Pietro-Medicina Analysis Year: 2003
Input Data	
 <p>Shoulder width _____ ft</p> <p>Lane width _____ ft</p> <p>Lane width _____ ft</p> <p>Shoulder width _____ ft</p> <p>Segment length, L_1 _____ mi</p>	<input type="checkbox"/> Class I <input checked="" type="checkbox"/> Class II Terrain <input checked="" type="checkbox"/> Level <input type="checkbox"/> Rolling Two-way hourly volume 2252 veh/h Directional split 60 / 40 Peak-hour factor, PHF 0.88 No-passing zone 50 % Trucks and Buses, P_T 16 % % Recreational vehicles, P_R 0% Access points/ km 4  Show North Arrow
Average Travel Speed	
Grade adjustment factor, f_G (Exhibit 20-7)	1.00
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-9)	1.2
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-9)	1.0
Heavy-vehicle adjustment factor, $f_{HV}=1/(1+P_T(E_T-1)+P_R(E_R-1))$	0.969
Two-way flow rate ¹ , v_p (pc/h) $v_p=V/(PHF * f_G * f_{HV})$	2671
v_p * highest directional split proportion ² (pc/h)	1603
Field Measured speed, S_{FM} km/h Observed volume, V_f veh/h Free-flow speed, FFS $FFS=S_{FM}+0.00776(V_f/f_{HV})$ km/h	Base free-flow speed, $BFFS_{FM}$ 70.0 km/h Adj. for lane width and shoulder width ³ , f_{LS} (Exhibit 20-5) 10.3 km/h Adj. for access points, f_A (Exhibit 20-6) 2.7 km/h Free-flow speed, FFS $(FFS=BFFS-f_{LS}-f_A)$ 57.0 km/h
Adj. for no-passing zones, f_{np} (km/h) (Exhibit 20-11)	1.1
Average travel speed, ATS (km/h) $ATS=FFS-0.00776v_p-f_{np}$	22.5
Percent Time-Spent-Following	
Grade Adjustment factor, f_G (Exhibit 20-8)	1.00
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-10)	1.2
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-10)	1.0
Heavy-vehicle adjustment factor, f_{HV} $f_{HV}=1/(1+P_T(E_T-1)+P_R(E_R-1))$	0.969
Two-way flow rate ¹ , v_p (pc/h) $v_p=V/(PHF * f_G * f_{HV})$	2671

v_p * highest directional split proportion ² (pc/h)	1603
Base percent time-spent-following, BPTSF(%) $BPTSF=100(1-e^{-0.000879v_p})$	90.4
Adj. for directional distribution and no-passing zone, $f_{d/np}(\%)(Exh. 20-12)$	1.6
Percent time-spent-following, PTSF(%) $PTSF=BPTSF+f_{d/np}$	92.1
<i>Level of Service and Other Performance Measures</i>	
Level of service, LOS	F
Volume to capacity ratio v/c $v/c=V_p/3,200$	0.83
Peak 15-min veh-miles of travel, VMT_{15} (veh- km) $VMT_{15}=0.25L_t(V/PHF)$	5177
Peak-hour vehicle-miles of travel, VMT_{60} (veh- km) $VMT_{60}=V*L_t$	18016
Peak 15-min total travel time, $TT_{15}(\text{veh-h})$ $TT_{15}=VMT_{15}/ATS$	160.0

Si può quindi notare come le condizioni della vecchia strada erano già in condizioni limite.

L'analisi ed il confronto tra i due scenari consentono di definire l'effetto dell'introduzione della nuova infrastruttura nella rete viaria dell'area di studio.

La variante SP 19 comporta una redistribuzione dei flussi di traffico dell'intera area per la tipologia delle strade, della intersezioni e la loro collocazione.

I volumi di traffico sulla variante evidenziano che nei primi due tratti l'arteria risente della vicinanza del casello autostradale A14 rimanendo quindi un direttrice di accesso molto frequentata.

Il valore di tali flussi, pur essendo consistente, è allineato al carico rilevato in altri rami della rete e compatibile con le caratteristiche di capacità di questo tipo di infrastruttura.

CAPITOLO 4. STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO DELLA NUOVA ROTATORIA COLUNGA

4.1 Aspetti tecnici e funzionali delle rotatorie

Le rotatorie sono attualmente tra le soluzioni progettuali più frequentemente adottate in Italia per le intersezioni a raso in ambito urbano o sub-urbano. Le motivazioni di questa scelta sono da attribuire alle elevate prestazioni in termini di funzionalità ed alla maggiore sicurezza della circolazione che tale tipo di intersezione sembra offrire in un numero ampio di condizioni di impiego.

La diffusione delle intersezioni a rotatoria è stata accompagnata da una crescente disponibilità di affidabili strumenti di analisi, in grado di valutarne la capacità e le prestazioni funzionali (ritardo, lunghezza della coda, ecc.), rendendo così possibile il confronto con differenti soluzioni progettuali.

I metodi di analisi delle prestazioni funzionali delle rotatorie sono usualmente classificati in empirici o analitici, empirici o teorici, microscopici o macroscopici. Benché tali classificazioni rappresentino in realtà una semplificazione e sia spesso difficile applicarle, nell'ambito di questo studio si utilizzerà la distinzione tra modelli empirici e modelli analitici: sulla distinzione fra tali modelli torneremo in seguito.

La rotatoria è un tipo di intersezione che si differenzia dalle altre tipologie di incroci tradizionali per la configurazione geometrica, che induce una particolare organizzazione della circolazione. Infatti in una rotatoria la regolazione della circolazione è affidata all'utente con il criterio della precedenza al flusso circolante rispetto quello entrante (vedi art. 145 comma 4 del Codice della Strada) e quindi secondo un funzionamento che attiva l'attenzione e la responsabilità nel

conducente. La precedenza all'anello è necessaria per evitare l'autosaturazione nell'anello stesso, che si può verificare anche con flussi moderati. Tale regola deve essere chiaramente indicata da idonea segnaletica. Pertanto la sequenza delle operazioni che esegue un automobilista che s'immerge in una rotatoria è la seguente:

- attende che si verifichi un varco (gap) nel flusso dell'anello;
- vi si immette spostandosi all'interno dell'anello (se l'anello ha più di una corsia l'utente percorrerà quella esterna se dovrà scegliere l'uscita adiacente altrimenti percorrerà quella interna se dovrà uscire in rami non contigui);
- percorre l'anello fino in prossimità dell'uscita, si accosta all'esterno ed esce dall'incrocio.

Il sistema a rotatoria garantisce un elevato standard di sicurezza anche e soprattutto grazie alla diminuzione dei potenziali punti di conflitto rispetto ad una intersezione tradizionale a raso, come si può chiaramente constatare dalla Figura 4-1, dove rispetto ai 32 punti di conflitto, di cui 16 di attraversamento, si passa a solo 8 punti di conflitto di tangenza (immissione e diversione). Inoltre non si verificano più collisioni fronto-laterali.

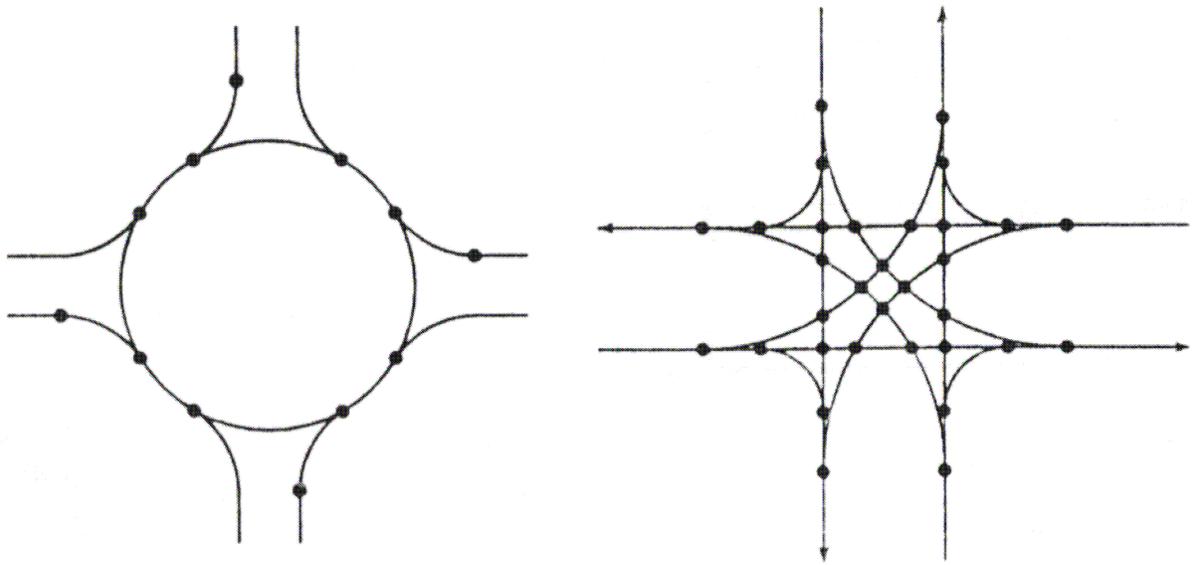


Figura 4-1. Potenziali punti di conflitto

La rotatoria deve svolgere una importante funzione di moderatore della velocità, con il grande vantaggio di diminuire il numero e l'entità dei potenziali incidenti. Nel controllo della velocità è fondamentale l'interferenza generata sui flussi dalla presenza sulla traiettoria dei veicoli del centro della rotonda.

In questo tipo di valutazioni sono di grande importanza le linee di deflessione. Con queste linee viene tracciata la traiettoria ideale di un veicolo in attraversamento ed a seconda della conformazione della linea di deflessione può essere stimata la velocità del veicolo.

Concetto di deflessione

Si definisce *deflessione* di una traiettoria il raggio dell'arco del cerchio che passa a ml. 1,50 dal bordo dell'isola centrale e a ml. 2,00 dal ciglio delle corsie d'entrata e d'uscita. Tale raggio non deve superare i valori di ml. 80-100, cui corrispondono le usuali velocità di sicurezza nella gestione di una circolazione rotatoria.

La regola principale per il disegno progettuale delle rotatorie riguarda pertanto 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 scopo primario delle rotatorie un assoluto controllo delle 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 con velocità massime di 40-50 km/h per le manovre più dirette.

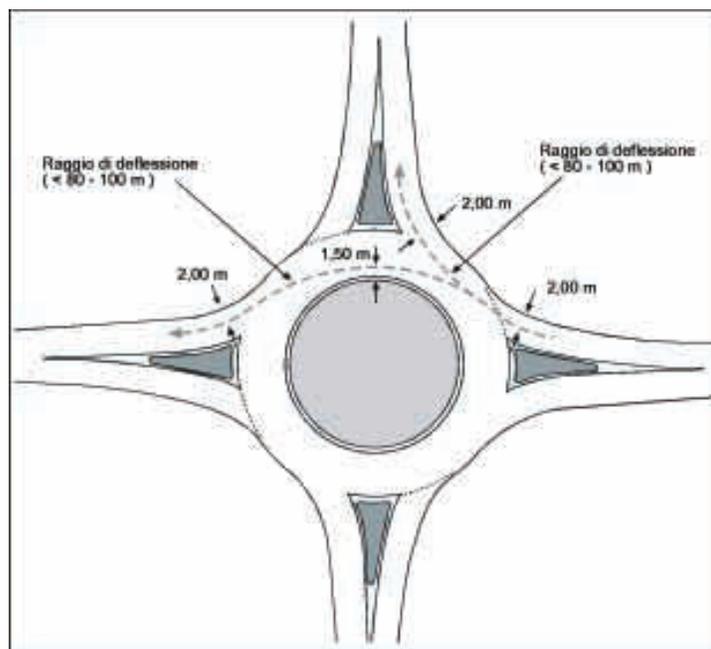


Figura 4-2. Deflessione della traiettoria di un veicolo in rotatoria

Se il valore della deflessione risultasse troppo grande, potrebbe essere riportato ai valori sopracitati variando la disposizione di uno o più bracci oppure aumentando il raggio dell'isola centrale.

Il funzionamento della rotatoria dipende anche dalle velocità di percorrenza dell'anello: solo in regimi di basse velocità è possibile attuare correttamente le manovre previste. D'altro

canto, la velocità deve risultare tale da non indurre eccessivi rallentamenti nel flusso circolare, che causerebbe un aumento dei tempi d'attesa negli ingressi. Per questi motivi occorre realizzare rotatorie ben proporzionate dal punto di vista geometrico.

Non sempre però è possibile usufruire dei vantaggi conseguibili con la realizzazione delle rotatorie. In particolare esistono alcuni casi in cui l'adozione di una rotatoria è tecnicamente difficile se non addirittura controproducente.

Le situazioni di difficoltà più evidenti sono dettate:

- dalla mancanza di spazio per poter sviluppare in modo corretto il dimensionamento della rotatoria per problemi orografici, di espropri o di ricollocazione dei sottoservizi;
- dalla regolazione centralizzata e diretta del traffico che interessa ampie aree e consente la programmazione di precedenza per determinati flussi veicolari ed il trattenimento di altri. La caratteristica di non gerarchicità per i flussi in rotatoria e l'impossibilità di incentivare o disincentivare itinerari o componenti di traffico a partire dall'ingresso nella connessione, rendono la presenza dello schema circolare interposto tra altri tipi di intersezione, non compatibile con questi moderni criteri di gestione centralizzata dei flussi. Ciò si traduce nella inconciliabilità delle rotatorie con successioni di incroci regolati da semafori a onda verde;
- dalla frequente presenza di traffico di veicoli pesanti e carichi eccezionali e la mancanza di spazio per garantire un corretto dimensionamento della struttura;
- dalla presenza, a valle di alcuni rami della rotatoria, di sistemi di controllo del traffico che potrebbero causare una colonna che risale fino ad intasare l'anello;

- dalla presenza di strade con caratteristiche di volumi di traffico molto differenti ed in generale è sconsigliato l'utilizzo della rotatoria quando il rapporto tra flusso su arteria secondaria e quello sull'asse principale è inferiore al 20%;
- dall'incremento, oltre il limite della tollerabilità, della lunghezza dei percorsi pedonali in ambito urbano;
- dalla presenza di condizioni topografiche che non permettono di ottenere delle distanze di visibilità sufficienti per la sicurezza dell'utente.

Il ritardo nelle rotatorie è costituito da due componenti, chiamate ritardo geometrico e ritardo d'attesa.

Il ritardo geometrico è quello che subisce un veicolo isolato rallentando fino alla velocità media di attraversamento dell'intersezione, procedendo nella rotatoria e accelerando fino a riprendere la normale velocità di crociera.

Il ritardo di attesa è quello che gli automobilisti accusano rallentando fino a fermarsi alla fine della coda e, dopo aver accettato un gap, accelerando fino alla velocità media di attraversamento, procedendo attraverso la rotatoria e accelerando ulteriormente per raggiungere la velocità operativa normale.

Ovviamente il ritardo totale è dato dalla somma del ritardo d'attesa e del geometrico.

4.2 Caratteristiche geometriche e funzionali delle rotatorie

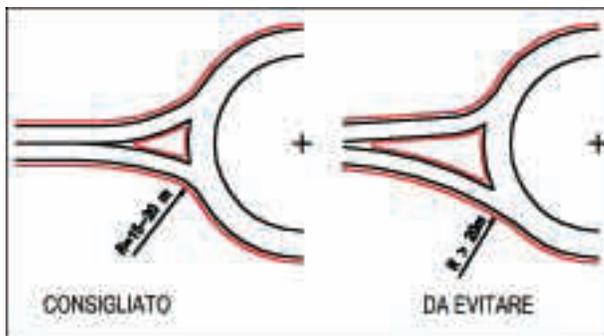
Le principali caratteristiche geometriche e funzionali di una rotatoria sono le seguenti:

- isola centrale inaccessibile;
- circolazione a senso unico antiorario;
- regola della precedenza all'anello;
- la riduzione della velocità imposta dalla deflessione delle traiettorie.

Vediamo in dettaglio:

- **Isola centrale** è la parte più interna del sistema a rotatoria, generalmente di tipo non valicabile e di forma circolare. La dimensione dell'isola centrale è influenzata dalla necessità di ottenere una sufficiente deviazione per i veicoli che attraversano diametralmente la rotatoria. Dove è possibile limitare la velocità con altri interventi non esiste alcun limite alla dimensione. La forma delle isole più grandi può non essere circolare per adattarsi a particolari casi, in ogni caso le isole di dimensioni minori del raggio di ml 5,00 dovrebbero essere circolari.
- **Anello di scorrimento o carreggiata circolante**, è la corona attorno all'isola centrale in cui circolano i veicoli.
- **Raggio esterno** della rotatoria, è la misura del massimo cerchio inscritto all'interno di limiti della rotatoria.
- **Raggio interno** è il diametro dell'isola centrale.

- **Rami o bracci d'accesso:** normalmente le entrate devono essere ad una sola corsia per motivi di sicurezza dell'intersezione. In alcuni casi, però, potrebbe essere necessario, per aumentare la capacità utilizzare due corsie d'entrata. Il raggio della traiettoria d'entrata deve essere inferiore al raggio della circonferenza esterna della rotatoria, garantendo in ogni caso un valore minimo non inferiore a ml 10.
- **Raggio d'innesto:** i raggi di curvatura dell'entrata compresi tra i ml. 15 e ml. 20 rallentano la velocità d'entrata ed inducono i veicoli a dare la precedenza a chi transita sull'anello. Un raggio troppo ampio può portare il valore della deflessione a dei livelli superiori a quelli ottimali.



- **Rami o bracci d'uscita:** mentre le entrate sono progettate per rallentare i veicoli, le uscite dovrebbero essere disegnate in modo da liberare il più velocemente possibile l'anello di circolazione. Per questa ragione il raggio della traiettoria d'uscita deve essere superiore sia al raggio dell'entrata sia al raggio della circonferenza dell'isola giratoria interna, garantendo comunque un valore minimo non inferiore a ml. 15,00. Come per le entrate, anche le uscite dovrebbero essere normalmente ad una sola corsia.

- **Isole a goccia o svasate** che separano i flussi entranti da quelli uscenti e inducono i veicoli a rallentare fino alla velocità di percorrenza della rotatoria.

A seconda delle dimensioni del diametro della circonferenza esterna, le rotatorie si possono suddividere secondo la Classificazione FHWA:

CATEGORIA CORSIE ANELLO	AMBITO	VELOCITA' MAX DI APPROCCIO (Km/h)	CORSIE ENTRATA	CORSIE ANELLO	DIAMETRO (M)
Mini	locale	25	1	1	13-25
Compatta	urbano	25	1	1	25-30
Normale 1 corsia	urbano	35	1	1	30-40
Normale 2 corsie	urbano	40	2	2	45-55
Grande 1 corsia	extraurbano	40	1	1	35-40
Grande 2 corsie	extraurbano	50	2	2	55-60

Tabella 4-1

4.3 Le prestazioni delle rotatorie: Capacità e Livello di Servizio

Le prestazioni delle rotatorie sono particolarmente importanti non solo in relazione alla gestione della formazione delle code, dei tempi di attesa e dei tempi di percorrenza, ma anche in relazione al livello di sicurezza, vista la correlazione forte tra quest'ultimo e la capacità di una rotonda.

Fondamentalmente possono essere usate due metodologie per definire le caratteristiche funzionali delle rotatorie.

La prima è di tipo empirico-sperimentale e riguarda la definizione della capacità dei rami di accesso in funzione delle caratteristiche geometriche, dei flussi entranti e del flusso circolante: principalmente tramite il metodo Kimber.

La seconda è di tipo analitico, basata essenzialmente sulla teoria del *gap-acceptance*, che considera sia la capacità, sia il ritardo medio sia per i singoli accessi che per l'intera intersezione. Sono tutte metodologie di derivazione HCM e fra queste prendiamo quella proposta dall'Australian Road Research Board e implementata nel software SIDRA da Rahmi Akcelik.

4.3.1 Metodologia empirico-sperimentale

Si definisce capacità del braccio di una rotatoria il più piccolo valore del flusso sul braccio che determina la presenza permanente di veicoli in attesa di immettersi. Questo valore del flusso dipende evidentemente dal flusso che percorre l'anello, e quindi dall'insieme dei flussi in ingresso e in uscita da tutti i bracci della rotatoria. Non è pertanto possibile calcolare la capacità di un braccio se non è nota l'intera matrice M origine-destinazione della rotatoria, il cui generico elemento (i, j) rappresenta il flusso di ingresso del braccio i che esce al braccio j , dalla quale si ricava la matrice N di destinazione, il cui generico

elemento (i, j) fornisce la frazione del flusso entrante da i che esce in j .

Per le rotatorie si hanno due diverse definizioni di capacità: la capacità semplice e la capacità totale.

Data una matrice M origine-destinazione, sia μ il più piccolo scalare che moltiplicato per M dia luogo ad un insieme di flussi entranti e uscenti dalla rotatoria, tale che la capacità, come precedentemente definita, sia raggiunta su uno dei bracci. Il prodotto di μ per il flusso entrante da questo braccio, che si ricava dalla matrice M , è la capacità semplice della rotatoria.

Data una matrice di distribuzione N , si definisce capacità totale della rotatoria la somma dei flussi in ingresso che, distribuendosi secondo N fra le diverse uscite, determinano il raggiungimento contemporaneo della capacità su tutti i bracci.

Una prima indicazione sull'ordine di grandezza della capacità di una rotatoria è fornita dal traffico complessivo entrante, infatti, se esso è:

- **minore di 1.500 veicoli/h** normalmente la rotatoria non ha problemi a smaltire il traffico circolante, anche nella conformazione geometrica minima;
- **da 1500 a 2000 veicoli/h** è necessario un esame della ripartizione del traffico. Si deve verificare che la somma delle correnti in entrata e in circolazione non superi i 1000 veicoli/h su ciascuna entrata;
- **maggiore di 2000 veicoli/h** è necessario valutare la capacità delle singole entrate.

Per la trasformazione dei flussi di veicoli diversi dalle autovetture in veicoli equivalenti si possono adottare i seguenti coefficienti di conversione:

ciclo o motociclo = 0,7 veicoli;

veicolo leggero = 1,0 veicolo;

veicolo pesante o autobus = 2,0 veicoli.

Calcolo della capacità con il metodo sperimentale di Kimber

Le prime formulazioni per il calcolo della capacità di una rotatoria sono state effettuate da Kimber nel 1980, sulla base delle sperimentazioni del TRRL inglese.

Egli ricavò la relazione che correla la capacità di un braccio al flusso che percorre l'anello ed alle caratteristiche geometriche della rotatoria attraverso l'analisi statistica, condotta con tecniche di regressione, di un gran numero di dati raccolti su rotatorie in Gran Bretagna, tutte con priorità sull'anello. Egli dimostrò l'esistenza di una relazione lineare fra la capacità di un ingresso Q_e e il flusso circolante Q_c in prossimità del braccio considerato:

$$\text{CAPACITA' } C = Q_e = F - f_c Q_c$$

dove F e f_c dipendono dalla geometria dello schema.

Dall'analisi dei coefficienti F e f_c si evince che, fra le caratteristiche geometriche della rotatoria, quelle che hanno influenza di gran lunga maggiore sulla capacità di un braccio sono la larghezza della sua sezione trasversale corrente e quella della sua sezione allargata in corrispondenza della immissione.

I metodi di calcolo della capacità messi a punto nei diversi Paesi, pur essendo riconducibili tutti ad uno stesso schema fondamentale (tipo quello di Kimber), differiscono in qualche misura fra loro, in parte perché diverse sono le tipologie di rotatoria su cui sono stati misurati i dati sperimentali, ma in misura prevalente per la diversità dei comportamenti degli automobilisti, i quali giocano un ruolo fondamentale nel determinare il modo di funzionare di una rotatoria.

Quindi la capacità di un ramo è legata al flusso sull'anello e ad alcune caratteristiche geometriche.

Le caratteristiche geometriche che più influenzano la capacità sono la larghezza del ramo e la svasatura.

Indicando con:

- e = larghezza corsia di approccio;
- L = lunghezza di svasatura
- w = larghezza allargata (svasata);
- Φ = angolo di deflessione;
- D = diametro esterno rotatoria;
- r = raggio di entrata;
- Q_c = flusso circolante.

Si trova come visto sopra:

$$\text{CAPACITA' } C = Q_e = F - f_c Q_c$$

dove:

$$F = k \cdot 303 \cdot e_x$$

$$f_c = 0,21 \cdot t \cdot K^2 \cdot (1 + 0,2 \cdot e_x)$$

$$e_x = e - [(w - e) / (1 + 2S)]$$

$$S = [1,6 (w - e)] / L$$

$$k = 1 - 0,00347 (\Phi - 30^\circ) - 0,978 \cdot [(1/r_e) - (1/20)]$$

$$t = 1 + \frac{0,5}{1 + \exp [(D - 60) / 10]}$$

I valori di t previsti da HCM per le rotatorie sono inferiori a quelli utilizzati per le intersezioni non semaforizzate.

	Critical Gap (sec)	Follow up Time (sec)
Minimo	4,1	2,6
Massimo	4,6	3,1

Tabella 4-2

4.3.2 Metodologia analitica : stima del Livello di Servizio

Come si è detto, le varie formulazioni analitiche si ritrovano implementate nel software SIDRA.

Tra i principali elementi geometrici e funzionali che utilizza tale metodologia si ricordano:

- Corsia sub-dominante: quella con minor flusso.
- Corsia dominante: corsia di un ramo di approccio con maggior flusso.
- Critical gap: t_c , che definisce il tempo minimo fra due veicoli in transito di fronte al ramo di immissione in rotatoria, che l'utente giudica sufficiente per immettersi.
- Follow up time: t_f , che definisce il tempo che intercorre tra l'entrata di due veicoli successivi.
- Min headway: t_m , distanziamento temporale minimo fra veicoli della corrente circolare dipendente dalla velocità.

Si ipotizza che gli utenti usino prevalentemente la corsia di destra o di sinistra del ramo di accesso a seconda dell'intenzione di uscire dal primo o dai rami successivi.

I parametri t_c , t_f , t_m differiscono fra corsia dominante e sub-dominante; dipendono dal flusso circolante e dalle caratteristiche geometriche della rotatoria.

Altri parametri significativi calcolati dal SIDRA sono:

- Average Control Delay, ovvero il ritardo medio che comprende due termini:
 1. Stop line delay, ovvero il tempo che un utente spende prima in coda, poi sulla linea di arresto, in attesa di un *gap* accettabile nel flusso circolatorio.

2. Geometric delay, dipendente dal raggio di deflessione, ossia il tempo che un veicolo, in assenza di conflitti, impiega per decelerare fino alla velocità di negoziazione e poi accelerare in corrispondenza dell'anello centrale.

- Grado di saturazione = v/c (tasso di flusso/capacità) per la corsia di manovra: il SIDRA giudica ancora accettabile un valore 0,85; quando si avvicina ad 1, la procedura SIDRA fornisce valori del ritardo sensibilmente superiori a quelli che fornirebbe la normale procedura HCM per una rotatoria considerata come successione di intersezioni a T, perché quest'ultima non tiene sufficientemente conto del fatto che il flusso circolante, rispetto ad un ramo generico, è condizionato dai flussi sugli altri rami.
- Lunghezza della coda: è la massima lunghezza della coda che ha una probabilità del 5% di essere superata.

Il software SIDRA permette di valutare il ritardo medio per veicolo, cioè il tempo medio di attesa per un veicolo che intende immettersi nel flusso di traffico della corona giratoria, cioè l'indice che esprime la qualità del deflusso veicolare.

La stima del ritardo eseguita dal software include tutti i ritardi di un veicolo che arriva in corrispondenza dell'ingresso della rotatoria durante il periodo di analisi. Il ritardo che misura il metodo SIDRA è il ritardo alla linea di dare la precedenza.

Per un rotatoria si devono distinguere due casi tipici di approccio di un veicolo:

- con coda preesistente;
- in assenza di code.

Nel primo caso si possono manifestare ripetuti fenomeni di stop-and-go, con conseguente incremento del rischio di tamponamento;

d'altra parte, il ritardo di fermata dipende solo dal numero di veicoli fermi.

Nel secondo caso non esiste il ritardo di fermata. Ciò evidenzia uno dei possibili vantaggi della rotatoria che consiste proprio, evitando la fermata dei veicoli, nel garantire condizioni di deflusso quasi ininterrotto.

Dal punto di vista analitico, il ritardo medio si ottiene sommando il ritardo alla linea di dare precedenza e il ritardo geometrico.

Il ritardo geometrico è il ritardo accumulato da un veicolo che attraversa la rotatoria in assenza di altri veicoli ed include sia gli effetti delle caratteristiche geometriche dell'intersezione (raggio di manovra, distanza dall'intersezione e velocità associata), sia gli effetti delle modalità di controllo (tipo di segnaletica per il controllo del traffico all'interno della rotonda).

Ritardo secondo ARRB/SIDRA

$$d_{ic} = d_{SL} + d_{ig}$$

d_{ic} è il ritardo medio complessivo per veicolo, corrispondente al Control Delay di HCM.

$d_{SL} = d_1 + d_2$ primo e secondo termine del ritardo HCM (uniform + incremental) indicato da ARRB/SIDRA come stop-line delay; in d_2 viene compreso l'eventuale ritardo per coda residua (che invece HCM indica con d_3), mediante un particolare termine che è uguale a zero per coda nulla.

d_{ig} = ritardo geometrico (geometric delay) a flusso nullo, ossia presenza di un solo veicolo: dipende dalla decelerazione fra velocità di crociera in approccio e velocità di negoziazione in ingresso, dal tempo di percorrenza (velocità di negoziazione) all'interno dell'anello, dall'accelerazione fino alla velocità di

negoziiazione in uscita, dall'ulteriore accelerazione fino alla velocità di crociera in uscita.

Tabella 4-3 Dati predefiniti di negoziazione e ritardi geometrici per veicoli leggeri calcolati dal Software SIDRA per intersezioni con le impostazioni predefinite (utilizzando SIDRA per percorrenze da sinistra e destra).

Regola di guida = sinistra	SEGNALI			ROTONDE		
	L	T	R	L	T	R
Raggio di negoziazione (mt)	10	S	15	35	57	19
Velocità di negoziazione (Km/h)	18	60	23	35	44	26
Distanza di negoziazione (mt)	16	25	24	19	47	7,5
Ritardo geometrico (sec)	9	0	8,7	5,6	3,4	12
Regola di guida = sinistra	STOP			DARE PRECEDENZA		
	L	T	R	L	T	R
Raggio di negoziazione (mt)	10	S	10	10	S	10
Velocità di negoziazione (Km/h)	18	24	18	18	30	18
Distanza di negoziazione (mt)	16	17	16	16	17	16
Ritardo geometrico (sec)	11,1	10,6	11,1	9	6,6	9
Regola di guida = destra	SEGNALI			ROTONDE		
	L	T	R	L	T	R
Raggio di negoziazione (mt)	15	S	10	19	57	35
Velocità di negoziazione (Km/h)	23	60	18	26	44	35
Distanza di negoziazione (mt)	24	25	16	75	47	19
Ritardo geometrico (sec)	8,7	0	9	12	3,4	5,6
Regola di guida = destra	STOP			DARE PRECEDENZA		
	L	T	R	L	T	R
Raggio di negoziazione (mt)	10	S	10	10	S	10
Velocità di negoziazione (Km/h)	18	24	18	18	30	18
Distanza di negoziazione (mt)	16	17	16	16	17	16
Ritardo geometrico (sec)	11,1	10,6	11,1	9	6,6	9

S = dritto

Approccio e velocità di crociera di uscita = 60 Km/h

Velocità di approccio di negoziazione per controllo di Stop = 0 Km/h, in tutti gli altri casi tale velocità è uguale alla velocità di uscita di negoziazione.

Distanza a valle = 500 mt

Le intersezioni di default hanno 3 corsie di accesso, tutti gli altri tipi di intersezione hanno 2 corsie di approccio.

Questi valori si applicano normalmente nell'approccio a una corsia.

Tabella 4-4 Dati predefiniti di negoziazione e ritardi geometrici per veicoli leggeri calcolati dal Software SIDRA per intersezioni con le impostazioni predefinite (utilizzando le impostazioni predefinite di SIDRA HCM con unità metriche).

Regola di guida = sinistra	SEGNALI			ROTONDE		
	L	T	R	L	T	R
Raggio di negoziazione (mt)	16	S	10	19	57	35
Velocità di negoziazione (Km/h)	24	65	18	26	44	35
Distanza di negoziazione (mt)	26	27	16	75	47	19
Ritardo geometrico (sec)	9,4	0	9,7	13,1	4,5	6,7
Regola di guida = sinistra	STOP			DARE PRECEDENZA		
	L	T	R	L	T	R
Raggio di negoziazione (mt)	11	S	10	10	S	10
Velocità di negoziazione (Km/h)	19	24	18	18	30	18
Distanza di negoziazione (mt)	17	17	16	16	17	16
Ritardo geometrico (sec)	11,7*	11,2*	11,7*	9,6*	7,1*	9,7*

S = dritto

Approccio e velocità di crociera di uscita = 60 Km/h

Velocità di approccio di negoziazione per il controllo di Stop = 0 Km/h, in tutti gli altri casi tale velocità è uguale alla velocità di uscita di negoziazione.

Distanza a valle = 500 mt

Le intersezioni di default hanno 3 corsie di accesso, tutti gli altri tipi di intersezione hanno 2 corsie di approccio.

Questi valori si applicano normalmente nell'approccio a una corsia.

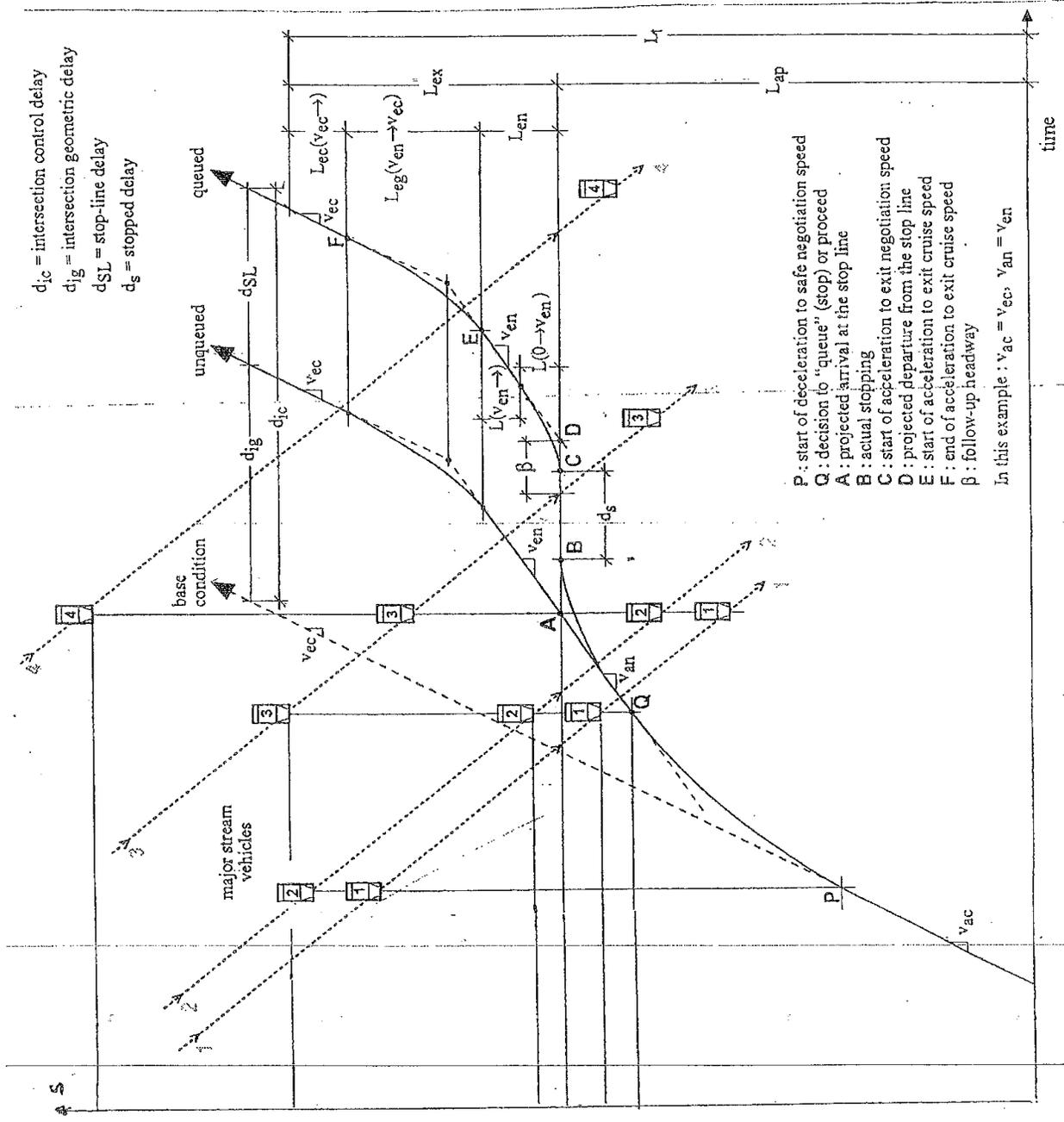
5* = quando il modello HCM utilizza l'opzione ritardo

La definizione di livello di servizio delle intersezioni in generale, è il ritardo ed in particolare il ritardo medio di controllo ed il tempo di fermata.

Il software SIDRA definisce per le rotatorie 6 classi di servizio, indicate con le lettere da A ad F, caratterizzate da intervalli temporali uguali a quelli proposti dall'HCM 2000 per le intersezioni semaforizzate. Ciò è facilmente comprensibile se si considera l'analogia comportamentale degli utenti che affrontano le due tipologie di intersezione infatti, così come gli utenti devono prima arrestarsi alla linea di fermata di un incrocio semaforizzato e poi attendere il segnale verde, analogamente gli utenti che si immettono in rotatoria a partire da uno dei bracci di ingresso, possono farlo non appena si presenta loro un varco libero sul flusso della corona giratoria.

Tabella 4-5 Definizione del Livello di servizio per veicoli (sulla base del ritardo del veicolo) secondo la Metodologia HCM.

LOS		Controllo del ritardo per veicoli in secondi (compreso il ritardo geometrico)	
		Segnali e rotonde	Stop e dare precedenza
A	Rapido smaltimento dei flussi	$d < 10$	$d < 10$
B	Flussi in opposizione ridotti	$10 < d < 20$	$10 < d < 15$
C	Inizio di difficoltà d'immissione	$20 < d < 35$	$15 < d < 25$
D	Inizio di fenomeni di congestione	$35 < d < 55$	$25 < d < 35$
E	Limite accettabile della congestione	$55 < d < 80$	$35 < d < 50$
F	Verso la saturazione	$80 < d$	$50 < d$



d_{ic} = intersection control delay
 d_{ig} = intersection geometric delay
 d_{SL} = stop-line delay
 d_s = stopped delay

- P : start of deceleration to safe negotiation speed
 - Q : decision to "queue" (stop) or proceed
 - A : projected arrival at the stop line
 - B : actual stopping
 - C : start of acceleration to exit negotiation speed
 - D : projected departure from the stop line
 - E : start of acceleration to exit cruise speed
 - F : end of acceleration to exit cruise speed
 - β : follow-up headway
- In this example : $v_{ac} = v_{ec}$, $v_{an} = v_{en}$

time

ITER METODOLOGICO

Step 1: scelta degli intervalli di velocità coerenti con la connotazione extraurbana dei contesti presi in esame;

Step 2: caratterizzazione geometrica;

Step 3: definizione dei flussi in ingresso dai bracci della rotatoria

Step 4: definizione della portata veicolare sulla corona giratoria;

Step 5: valutazione del ritardo medio per veicolo, secondo l'algoritmo implementato nel software SIDRA;

Step 6: determinazione del livello di servizio;

I primi 4 step possono sintetizzarsi nella scelta dei dati di input, gli ultimi due step si identificano con la deduzione dei parametri di output.

I dati di output, ritardi e livelli di servizio, saranno ottenuti tramite l'applicazione del modello analitico su cui si fonda il software SIDRA ed elaborati al fine di approntare gli abachi di calcolo da impiegare come strumento di verifica per la determinazione del livello di servizio.

La procedura di verifica è utile per verificare la funzionalità di un rotatoria esistente, in relazione ai flussi di traffico gravanti sulla stessa in uno o più intervalli orari di riferimento.

Tale procedura è semplice ed immediata e si può sintetizzare nei seguenti punti:

- rilievo dei volumi di traffico
- velocità operative dei veicoli che percorrono i bracci della rotatoria
- flusso in ingresso Q_i e la portata veicolare in opposizione Q_{opp} per ogni accesso alla rotatoria

- geometria
- si valutano per ogni accesso della rotatoria il ritardo medio e il livello di servizio corrispondente in funzione dei flussi di traffico in ingresso e in opposizione.

4.3.3 Definizione analitica del Livello di Servizio

La definizione dei livelli di servizio viene fatta in riferimento al ritardo medio di fermata che si verifica sulla rete secondo le indicazioni del Highway Capacity Manual (HCM).

Il parametro base di calcolo è il grado di saturazione x definito come il rapporto tra il flusso in immissione e la capacità del braccio ovvero:

$$x = Q_e/C$$

dove :

Q_e = flusso in ingresso (veicoli/h)

C = capacità del ramo

Una volta noto il parametro x , il ritardo medio di fermata associato ad un ramo di rotatoria può essere determinato tramite la seguente equazione fornita dal HCM:

$$d = (3600/C) + 900 \cdot T \cdot \left[(x-1) + \frac{\sqrt{(x-1)^2 + (3600 \cdot x)}}{(450 \cdot C \cdot T)} \right]$$

dove:

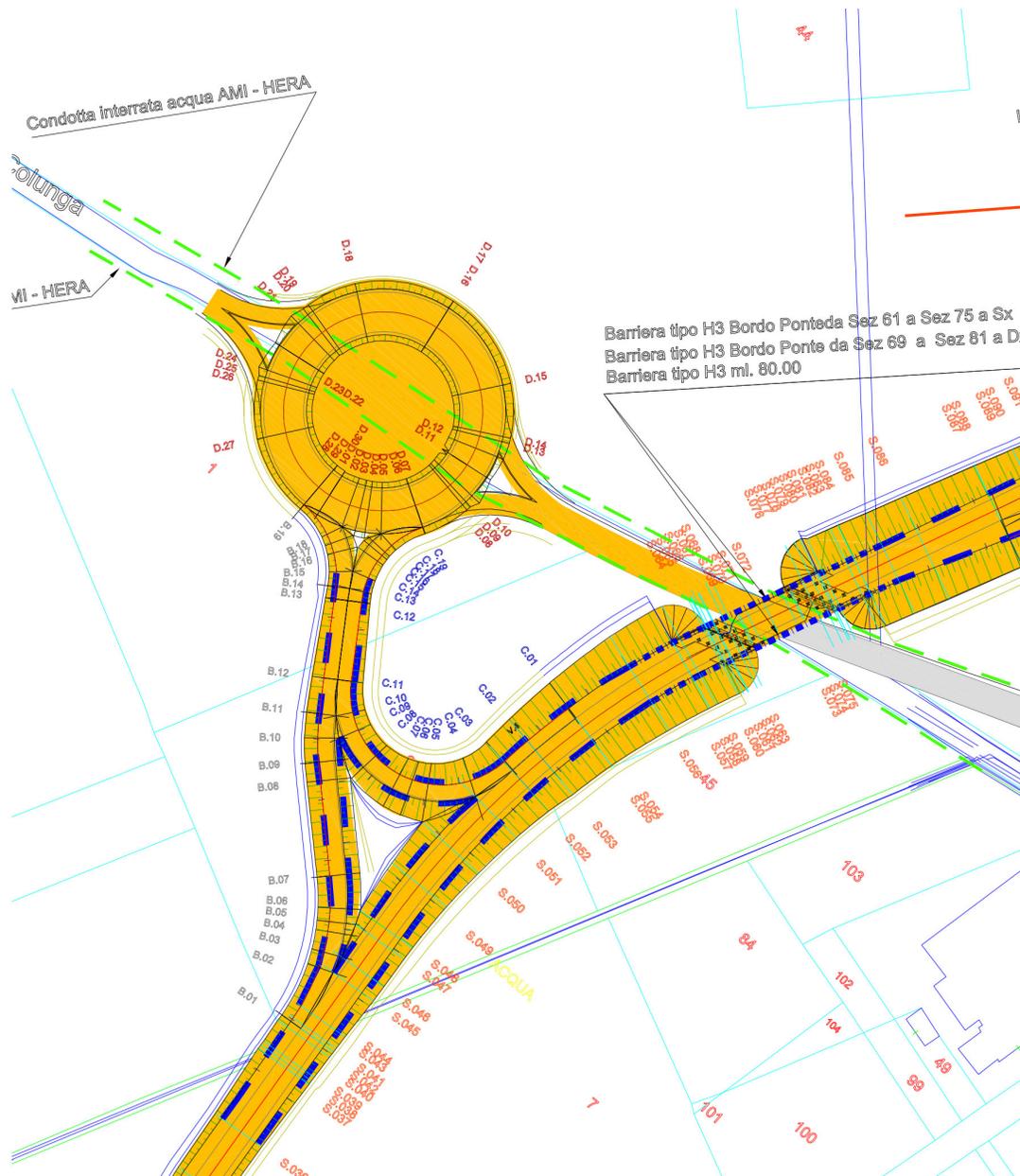
d = ritardo medio di fermata per un braccio (s/veicoli)

C = capacità del ramo

x = grado di saturazione

T = periodo di analisi (h) (si considera un periodo di 15 min pari a 0.25 h).

4.4. Calcolo del Livello di Servizio della Rotonda Colunga



4.4.1 Stima dei flussi di traffico

Per effettuare la verifica del LOS della rotonda è stato necessario effettuare ulteriori rilevamenti sui bracci di ingresso/uscita della rotatoria per definire la matrice O/D dei flussi, in quanto i flussi di cui al Cap. 2 riguardavano solamente il nuovo tracciato e non specificavano quelli di svolta.

La verifica della rotatoria è da eseguirsi prendendo in considerazione le condizioni più gravose per l'infrastruttura.

La situazione da prendere in esame è la fascia oraria in cui si ha la peggiore combinazione dei flussi diretti alla rotatoria e di manovre di svolta all'interno della stessa. Infatti il funzionamento della rotatoria, non dipende solamente dal numero di veicoli che vi accedono, ma anche dalle manovre che eseguono e dalla direzione da cui escono.

La fascia oraria con le condizioni più gravose è chiamata "ora di punta" e le condizioni più sfavorevoli hanno come conseguenza la minore capacità residua per gli accessi. Nell'ora di punta ci saranno quindi i maggiori accodamenti all'accesso ed i perditempo più elevati.

In una viabilità ordinaria la ricerca delle condizioni più gravose di traffico si effettua analizzando le ore di punta del mattino e le ore di punta della sera. Questi periodi a traffico elevato non coincidono obbligatoriamente con i picchi di maggiore traffico; infatti i conteggi si fanno durante l'arco di "giornate medie", nelle quali non si presentano fattori che influenzano i valori normali di traffico. Per esempio:

- presenza di mercati settimanali (afflusso maggiore della media, eventuali chiusure al traffico di strade interessate dal mercato);

- giorni di chiusura di esercizi commerciali (afflusso minore della media, assenza di mezzi pesanti per rifornimenti magazzini);
- giorni antecedenti o successivi a festività, fine settimana, ponti, vacanze lavorative (afflusso maggiore della media).

Il rilevamento dei flussi è stato eseguito su ogni braccio di entrata misurando sia il flusso entrante che quello in opposizione.

I rilievi sono stati effettuati manualmente in una giornata feriali, nella mattinata dalle 7.00 alle 10.00 e nel pomeriggio dalle 17.00 alle 20.00 nel mese di Dicembre.

Sono state rilevate 3 categorie di mezzi, tralasciando il flusso pedonale in quanto praticamente nullo.

I mezzi rilevati sono stati:

- Motocicli: convertiti in veicoli equivalenti moltiplicandoli per il fattore 0,7
- Autovetture
- Mezzi pesanti: convertiti in veicoli equivalenti moltiplicandoli per il fattore 2.

La seconda fase dell'indagine è la costruzione della matrice O/D, che rappresenta la mobilità dell'area, dove verranno inserite anche le manovre di svolta.

In tutte le direzioni l'ora di punta è quella della mattina tra le 8.00 e le 9.00.

Costruiamo ora la matrice O/D

Matrice O/D	San Carlo			C. Guelfo			Via Colunga			Totale		
	T	P	%	T	P	%	T	P	%	T	P	%
San Carlo	/	/	/	134	48	35%	193	19	10%	327	67	21%
C. Guelfo	240	23	10%	/	/	/	68	14	20%	308	37	12%
Via Colunga	318	51	16%	195	18	9%	/	/	/	513	69	14%
Totale	558	74	13%	329	66	20%	261	33	13%	1148	173	15%

Quindi tale matrice fotografa la situazione reale : i flussi vengono utilizzati per la verifica dello stato esistente e non per il progetto.

4.4.2 Stima del Livello di Servizio della rotatoria Colunga

Per la valutazione del LOS, come già detto in precedenza, abbiamo utilizzato il software SIDRA, che attraverso l'inserimento dei dati geometrici e dei flussi, ci permette di ottenere il LOS per ogni braccio di accesso.

Questo software, oltre a tenere conto dei dati geometrici dell'intersezione, tiene altresì in considerazione anche il modello comportamentale del guidatore.

Di seguito sono riportate le tabelle, che riassumono i risultati ottenuti, e la schematizzazione grafica della rotatoria con i dati più significativi.

SOFTWARE SIDRA

aaTraffic SIDRA US Highway Capacity Manual (2000) Metric Version

DEFAULT PARAMETERS

Default values for some of the important general parameters:

1. Basic saturation flow: 1900 tcu/h

This value applies mainly to signalised intersections. For roundabouts and sign-controlled intersections, it is used for determining capacity of priority and continuous movements.

2. Through car equivalents for signalised intersections

	L E F T		T H R O U G H		R I G H T	
	LV	HV	LV	HV	LV	HV
Normal	1.053	2.000	1.000	2.000	1.176	2.000
Restricted	1.303	2.500			1.426	2.500

3. Opposed turn parameters (Roundabout)

	Crit. Gap	Fol.up Hdway	Min. Deps	% Exit Flow Opposing
Left turns :	V	V	2.5	0
Through :	V	V	2.5	0
Right turns:	V	V	2.5	0

4. Cruise speed= 65 km/h, Approach Distance= 500 m

5. Queue space per vehicle in metres

Light vehicles: 7.6 Heavy vehicles: 14.0

Tabella 4.6 - TRAFFIC FLOW DATA

Mov No.	Left		Through		Right		Flow Scale	Peak Flow Factor
	LV	HV	LV	HV	LV	HV		
VEHICLES Demand flows in veh/hour as used by the program								
West: Castel Guelfo								
12	216	24	54	14	0	0	1.00	1.00
East: Via Colunga								
22	0	0	177	18	267	51	1.00	1.00
North: Castel San Pietro Terme								
42	174	19	0	0	87	47	1.00	1.00

Based on unit time = 60 minutes.

Flow Scale and Peak Hour Factor effects included in flow values.

Tabella 4.7 - ROUNDABOUT BASIC PARAMETERS

Cent Island Diam (m)	Circ Width (m)	Insc Diam. (m)	No.of Circ. Lanes	No.of Entry Lanes	Av.Ent Lane Width (m)	Circulating/Exiting Stream				
						Flow (veh/h)	%HV	Adjust. Flow (pcu/h)	%Exit Incl.	Cap. Constr. Effect
West: Castel Guelfo										
72	8	88	2	1	4.00	193	10.0	203	0	N
East: Via Colunga										
72	8	88	2	1	4.00	240	10.0	252	0	N
North: Castel San Pietro Terme										
72	8	88	2	1	4.00	195	9.0	203	0	N

Tabella 4.8 - ROUNDABOUT GAP ACCEPTANCE PARAMETERS

Turn	Lane No.	Lane Type	Circ/ Exit Flow (pcu/h)	Intra- Bunch Headway (s)	Prop. Bunched Vehicles	Critical Gap (s)	Follow Up Headway (s)
West: Castel Guelfo							
Left	1	Dominant	203	2.00	0.252	3.67	2.24
Thru	1	Dominant	203	2.00	0.252	3.67	2.24
East: Via Colunga							
Thru	1	Dominant	252	2.00	0.30	3.47	2.14
Right	1	Dominant	252	2.00	0.302	3.47	2.14
North: Castel San Pietro Terme							
Left	1	Dominant	203	2.00	0.252	3.64	2.22
Right	1	Dominant	203	2.00	0.252	3.64	2.22

Tabella 4.9 - ROUNDABOUT CAPACITY & LEVEL OF SERVICE - aaSIDRA & HCM MODELS

Mov No.	Dem Flow (veh /h)	aaSIDRA				HCM 2000 Lower				HCM 2000 Upper							
		Cap. (veh /h)	Deg. Satn x	Av. Delay (sec)	LOS	Cap. (veh /h)	Deg. Satn x	Av. Delay (sec)	LOS	Cap. (veh /h)	Deg. Satn x	Av. Delay (sec)	LOS				
West: Castel Guelfo																	
12	LT	308	1265	0.243	5.6	A	-	-	-	NA	-	-	-	NA	-	-	-
			1265	0.243	5.6	A	-	-	-	NA	-	-	-	NA	-	-	-
East: Via Colunga																	
22	TR	513	1272	0.403	1.0	A	-	-	-	NA	-	-	-	NA	-	-	-
			1272	0.403	1.0	A	-	-	-	NA	-	-	-	NA	-	-	-
North: Castel San Pietro Terme																	
42	LR	327	1185	0.276	4.4	A	-	-	-	NA	-	-	-	NA	-	-	-
			1185	0.276	4.4	A	-	-	-	NA	-	-	-	NA	-	-	-
ALL VEHICLES:			3722	0.403	3.2	A	-	-	-	NA	-	-	-	NA	-	-	-

Tabella 4.10 - ROUNDABOUT ALTERNATIVE CAPACITY MODELS

Mov No.	Dem Flow (veh/h)	aaSIDRA		NAASRA 1986		Ger. Linear		Ger. GapAcc	
		Cap. (veh/h)	Deg. Satn x	Cap. (veh/h)	% Diff from aaSIDRA	Cap. (veh/h)	% Diff from aaSIDRA	Cap. (veh/h)	% Diff from aaSIDRA
West: Castel Guelfo									
12 LT	308	1265	0.243	1416	11.9	1064	-15.9	998	-21.1
		1265	0.243	1416	11.9	1064	-15.9	998	-21.1
East: Via Colunga									
22 TR	513	1272	0.403	1344	5.7	1029	-19.1	950	-25.3
		1272	0.403	1344	5.7	1029	-19.1	950	-25.3
North: Castel San Pietro Terme									
42 LR	327	1185	0.276	1319	11.3	992	-16.3	930	-21.5
		1185	0.276	1319	11.3	992	-16.3	930	-21.5
ALL VEHICLES:		3722	0.403	4079	9.6	3085	-17.1	2878	-22.7

Tabella 4.11 - MOVEMENT CAPACITY PARAMETERS

Mov No.	Dem Flow (veh/h)	Total Opng Flow (veh/h)	%HV	Adjust. Opng Flow (pcu/h)	Total Cap. (veh/h)	Prac. Deg. xp	Prac. Spare Cap. (%)	Lane Util (%)	Deg. Satn x
West: Castel Guelfo									
12 LT	308	193	10.0	203	1265	0.85	249	100	0.243
East: Via Colunga									
22 TR	513	240	10.0	252	1272	0.85	111	100	0.403*
North: Castel San Pietro Terme									
42 LR	327	195	9.0	203	1185	0.85	208	100	0.276

Tabella 4.12 - INTERSECTION PARAMETERS

Intersection Level of Service	=	A
Worst movement Level of Service	=	A
Average intersection delay (s)	=	3.2
Largest average movement delay (s)	=	5.6
Largest back of queue, 95% (m)	=	21
Performance Index	=	18.78
Degree of saturation (highest)	=	0.403
Practical Spare Capacity (lowest)	=	111 %
Total vehicle capacity, all lanes (veh/h)	=	3722
Total vehicle flow (veh/h)	=	1148
Total person flow (pers/h)	=	1378
Total vehicle delay (veh-h/h)	=	1.02
Total person delay (pers-h/h)	=	1.23
Total effective vehicle stops (veh/h)	=	314
Total effective person stops (pers/h)	=	377
Total vehicle travel (veh-km/h)	=	718.1

Tabella 4.13 - MOVEMENT PERFORMANCE

Mov No.	Total Delay (veh-h/h)	Total Delay (pers-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Longest Queue 95% Back (vehs)	Queue (m)	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
West: Castel Guelfo									
12 LT	0.48	0.57	5.6	0.30	0.43	1.3	11	5.76	43.7
East: Via Colunga									
22 TR	0.15	0.17	1.0	0.37	0.13	2.5	21	7.27	46.8
North: Castel San Pietro Terme									
42 LR	0.40	0.48	4.4	0.30	0.35	1.4	12	5.74	44.2

Tabella 4.14 - INTERSECTION PERFORMANCE

Total Flow (veh/h)	Deg. Satn x	Total Delay (veh-h/h)	Total Delay (pers-h/h)	Aver. Delay (sec)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Longest Queue (m)	Perf. Index	Aver. Speed (km/h)
West: Castel Guelfo									
308	0.243	0.48	0.57	5.6	0.302	0.43	11	5.76	43.7
East: Via Colunga									
513	0.403	0.15	0.17	1.0	0.374	0.13	21	7.27	46.8
North: Castel San Pietro Terme									
327	0.276	0.40	0.48	4.4	0.304	0.35	12	5.74	44.2
INTERSECTION (persons):									
1378	0.403		1.23	3.2	0.335	0.27		18.78	45.1

Queue values in this table are 95% back of queue (metres).

Tabella 4.15 - LANE PERFORMANCE

Lane No.	Mov No.	Dem Flow (veh/h)	Cap (veh/h)	Deg. Satn x	Aver. Delay (sec)	Eff. Stop Rate	Queue 95% Back (vehs)	Queue (m)	Short Lane (m)
West: Castel Guelfo									
1	LT	12	308	1265	0.243	5.6	0.43	1.3	11
East: Via Colunga									
1	TR	22	513	1272	0.403	1.0	0.13	2.5	21
North: Castel San Pietro Terme									
1	LR	42	327	1185	0.276	4.4	0.35	1.4	12

Tabella 4.16 - LANE FLOW AND CAPACITY INFORMATION

Lan No.	Mov No.	Dem Flow (veh/h)				Min Cap	Tot Cap	Deg. Satn x	Lane Util %	
		Lef	Thru	Rig	Tot	(veh /h)	(veh /h)			
West: Castel Guelfo										
1	LT	12	240	68	0	308	150	1265	0.243	100
East: Via Colunga										
1	TR	22	0	195	318	513	150	1272	0.403	100
North: Castel San Pietro Terme										
1	LR	42	193	0	134	327	150	1185	0.276	100

Tabella 4.17 - MOVEMENT CAPACITY AND PERFORMANCE SUMMARY

Mov No.	Mov Typ	Dem Flow (veh /h)	Total Cap. (veh /h)	Lane Util (%)	Deg. Satn x	Aver. Delay (sec)	Eff. Stop Rate	95% Back of Queue (veh)	Perf. Index
West: Castel Guelfo									
12	LT	308	1265	100	0.243	5.6	0.43	1.3	5.76
East: Via Colunga									
22	TR	513	1272	100	0.403*	1.0	0.13	2.5	7.27
North: Castel San Pietro Terme									
42	LR	327	1185	100	0.276	4.4	0.35	1.4	5.74

Tabella 4.18 - SUMMARY OF INPUT AND OUTPUT DATA

Lane No.	Demand Flow (veh/h)				%HV	Adj. Basic Satf.	Eff Grn (secs)		Deg Sat x	Aver. Delay (sec)	Longest Queue (m)	Shrt Lane (m)
	L	T	R	Tot			1st	2nd				
West: Castel Guelfo												
1	LT	240	68		308	12			0.243	5.6	11	
		240	68	0	308	12			0.243	5.6	11	
East: Via Colunga												
1	TR		195	318	513	13			0.403	1.0	21	
		0	195	318	513	13			0.403	1.0	21	
North: Castel San Pietro Terme												
1	LR	193		134	327	20			0.276	4.4	12	
		193	0	134	327	20			0.276	4.4	12	
ALL VEHICLES												
		Total Flow		% HV		Max X		Aver. Delay		Max Queue		
		1148		15		0.403		3.2		21		

Total flow period = 60 minutes. Peak flow period = 60 minutes.

Queue values in this table are 95% back of queue (metres).

Tabella 4.19 - CAPACITY AND LEVEL OF SERVICE

Mov No.	Mov Typ	Total Flow (veh /h)	Total Cap. (veh /h)	Deg. of Satn (v/c)	Aver. Delay (sec)	LOS
West: Castel Guelfo						
12	LT	308	1265	0.243	5.6	A
		308	1265	0.243	5.6	A
East: Via Colunga						
22	TR	513	1272	0.403*	1.0	A
		513	1272	0.403	1.0	A
North: Castel San Pietro Terme						
42	LR	327	1185	0.276	4.4	A
		327	1185	0.276	4.4	A
ALL VEHICLES:		1148	3722	0.403	3.2	A

Tabella 4.20 - GEOMETRIC DELAY DATA

From Approach	To Approach	Negn Radius (m)	Negn Speed (km/h)	Negn Dist. (m)	Appr. Dist. (m)	Downstream Distance (m)
West: Castel Guelfo						
	East	100.0	50.0	92.6	500	100
	North	39.2	36.2	153.9	500	195
East: Via Colunga						
	West	100.0	50.0	92.6	500	96
	North	88.4	50.0	33.9	500	82
North: Castel San Pietro Terme						
	West	88.4	50.0	33.9	500	93
	East	39.2	36.2	153.9	500	195

Tabella 4.21 - LANE DELAYS

Lane No.	Mov No.	Deg. Satn x	Delay (seconds/veh)									
			Stop-line 1st d1	Stop-line 2nd d2	Delay Total dSL	Acc. Dec. dn	Queuing Total dq	MvUp dqm	Stopd (Idle) di	Geom dig	Control dic	
West: Castel Guelfo												
1	LT	12	0.243	0.7	0.0	0.7	2.0	0.0	0.0	0.0	4.9	5.6
East: Via Colunga												
1	TR	22	0.403	1.0	0.0	1.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
North: Castel San Pietro Terme												
1	LR	42	0.276	0.7	0.0	0.7	2.1	0.0	0.0	0.0	3.7	4.4

Tabella 4.22 - LANE STOPS

Lane No.	Deg. Satn x	Effective Stop Rate				Prop. Queued pq	Queue Move-up Rate hqm
		he1	he2	Geom. hig	Overall h		
West: Castel Guelfo							
1 LT	0.243	0.16	0.00	0.26	0.43	0.302	0.00
East: Via Colunga							
1 TR	0.403	0.13	0.00	0.00	0.13	0.374	0.00
North: Castel San Pietro Terme							
1 LR	0.276	0.15	0.00	0.20	0.35	0.304	0.00

hg is the average value for all movements in a shared lane
hqm is average queue move-up rate for all vehicles queued and unqueued

Tabella 4.23 - LANE QUEUES

Lane No.	Deg. Satn x	Ovrfl. Queue No	Average (veh)			Percentile (veh)					Queue Stor. Ratio
			Nb1	Nb2	Nb	70%	85%	90%	95%	98%	
West: Castel Guelfo											
1 LT	0.243	0.0	0.4	0.0	0.4	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	0.02
East: Via Colunga											
1 TR	0.403	0.0	0.8	0.0	0.8	1.4	1.8	2.0	2.5	2.9	0.04
North: Castel San Pietro Terme											
1 LR	0.276	0.0	0.4	0.0	0.4	0.8	1.0	1.1	1.4	1.6	0.02

Tabella 4.24 - MOVEMENT SPEEDS (km/h)

Mov No.	App. Speeds		Exit Speeds		Queue Move-up		Av. Section Spd	
	Cruise	Negn	Negn	Cruise	1st Grn	2nd Grn	Running	Overall
West: Castel Guelfo								
12	50.0	39.2	39.2	50.0			43.7	43.7
East: Via Colunga								
22	50.0	50.0	50.0	50.0			46.8	46.8
North: Castel San Pietro Terme								
42	50.0	41.9	41.9	50.0			44.2	44.2

"Running Speed" is the average speed excluding stopped periods.

--- End of aaSIDRA Output ---

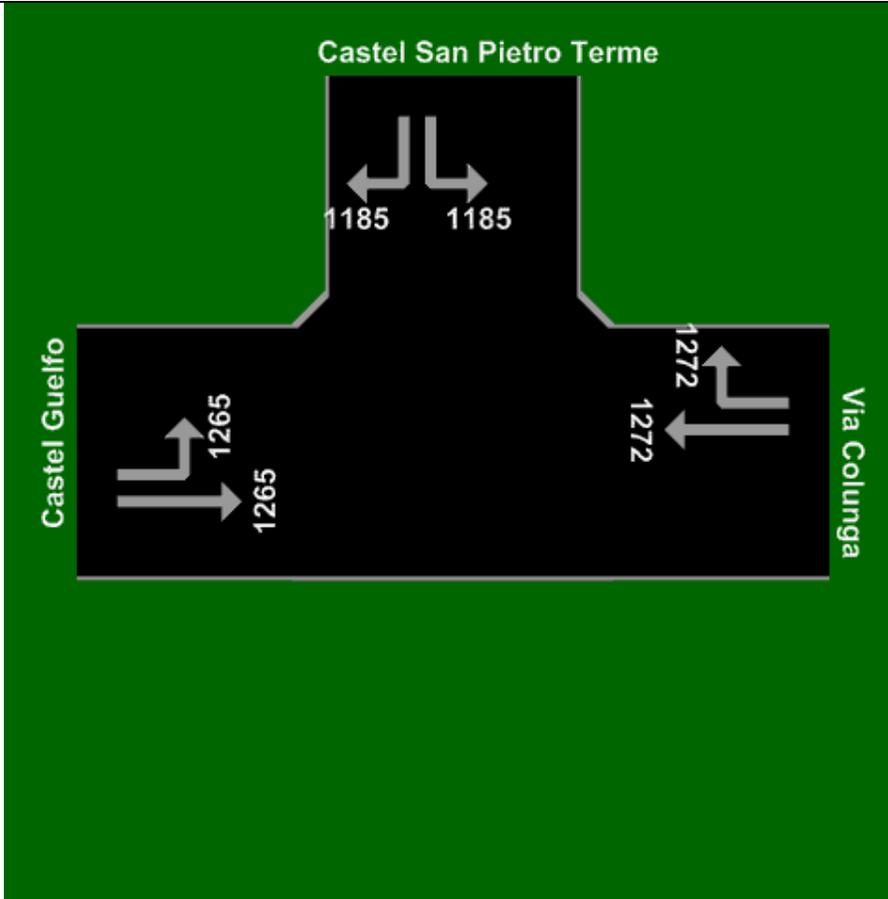
Intersection Summary**Roundabout Colunga**

Performance Measure	Vehicles	
Demand Flow	1148 veh/h	1378 pers/h
Degree of Saturation	0.403	
Capacity (Total)	3722 veh/h	
95% Back of Queue (m)	21 m	
95% Back of Queue (veh)	2.5 veh	
Control Delay (Total)	1.02 veh-h/h	1.23 pers-h/h
Control Delay (Average)	3.2 s/veh	3.2 s/pers
Level of Service	LOS A	LOS A
Level of Service (Worst Movement)	LOS A	
Total Effective Stops	314 veh/h	377 pers/h
Effective Stop Rate	0.27 per veh	0.27 per pers
Travel Distance (Total)	718.1 veh-km/h	861.8 pers-km/h
Travel Distance (Average)	626 m	626 m
Travel Time (Total)	15.9 veh-h/h	19.1 pers-h/h
Travel Time (Average)	50.0 secs	50.0 secs
Travel Speed	45.1 km/h	45.1 km/h

Movement Summary										
Roundabout Colunga										
Vehicle Movements										
Mov No	Turn	Dem Flow (veh/h)	Cap (veh/h)	Deg of Satn (v/c)	Aver Delay (sec)	Level of Service	95% Back of Queue (m)	Eff. Stop Rate	Aver Speed (km/h)	Oper Cost (\$/h)
Via Colunga										
22	T	195	1272	0.403	1.0	LOS A	21	0.13	46.8	80
22	R	318	1272	0.403	1.0	LOS A	21	0.13	46.8	80
Approach		513	1272	0.403	1.0	LOS A	21	0.13	46.8	80
Castel San Pietro Terme										
42	L	193	1185	0.276	4.4	LOS A	12	0.35	44.2	61
42	R	134	1185	0.276	4.4	LOS A	12	0.35	44.2	61
Approach		327	1185	0.276	8.8	LOS A	12	0.7	44.2	123
Castel Guelfo										
12	L	240	1265	0.243	5.6	LOS A	11	0.43	43.7	58
12	T	68	1265	0.243	5.6	LOS A	11	0.43	43.7	58
Approach		308	1265	0.243	5.6	LOS A	11	0.43	43.7	58
All Vehicles		1148	3722	0.403	3.2	LOS A	21	0.27	45.1	200

CAPACITA'

Valore totale per veicoli in movimento (veic/h)
1 Rotonda Colunga



*Intersection
Type*

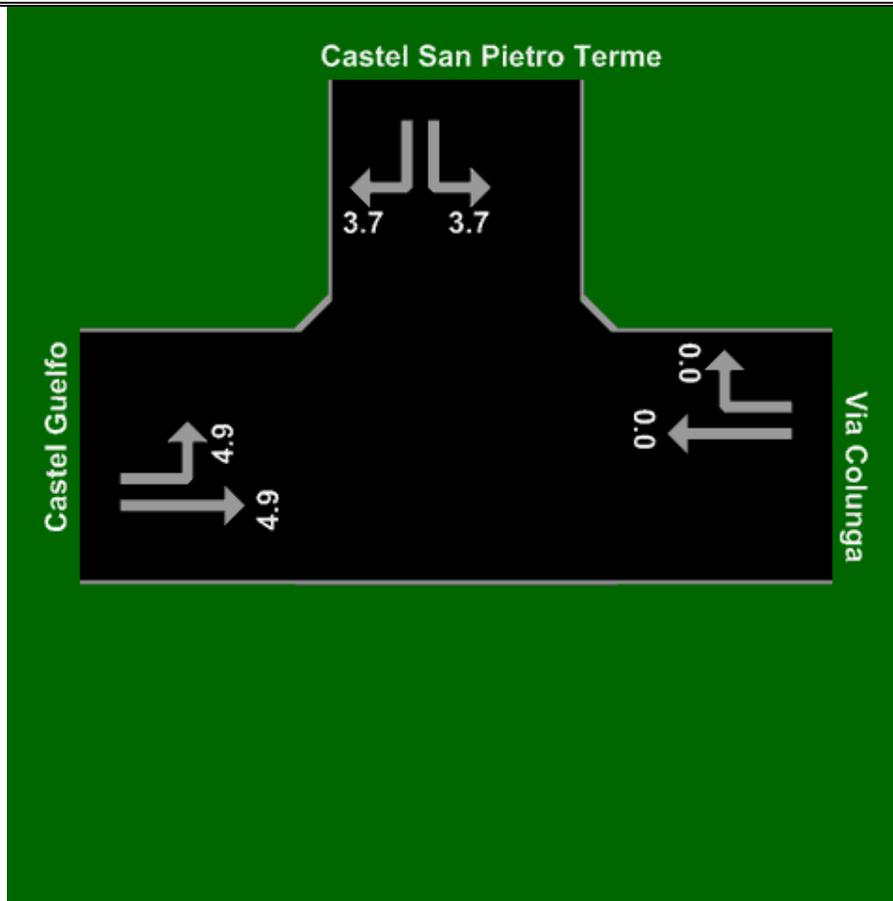
Roundabout

*No color
code in
this
display*

C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Rotonda Colunga
Produced by aaSIDRA 2.0.3.217 (Unregistered Version)
Copyright© 2000-2002

RITARDO GEOMETRICO

Media del ritardo geometrico per veicoli (secondi)
2 Rotonda Colunga



*Intersection
Type*

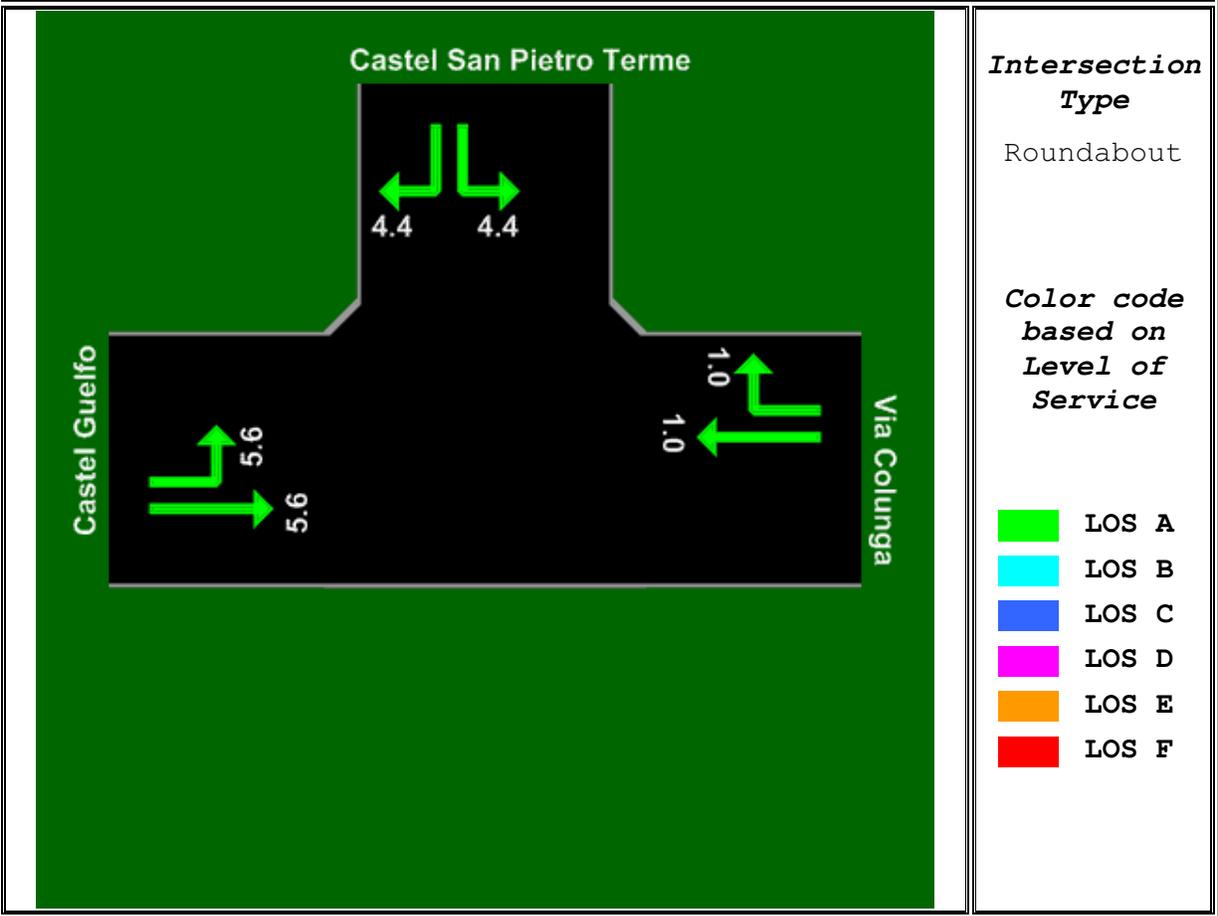
Roundabout

*No color
code in
this
display*

C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Rotonda Colunga
Produced by aaSIDRA 2.0.3.217 (Unregistered Version)
Copyright© 2000-2002

RITARDO MEDIO

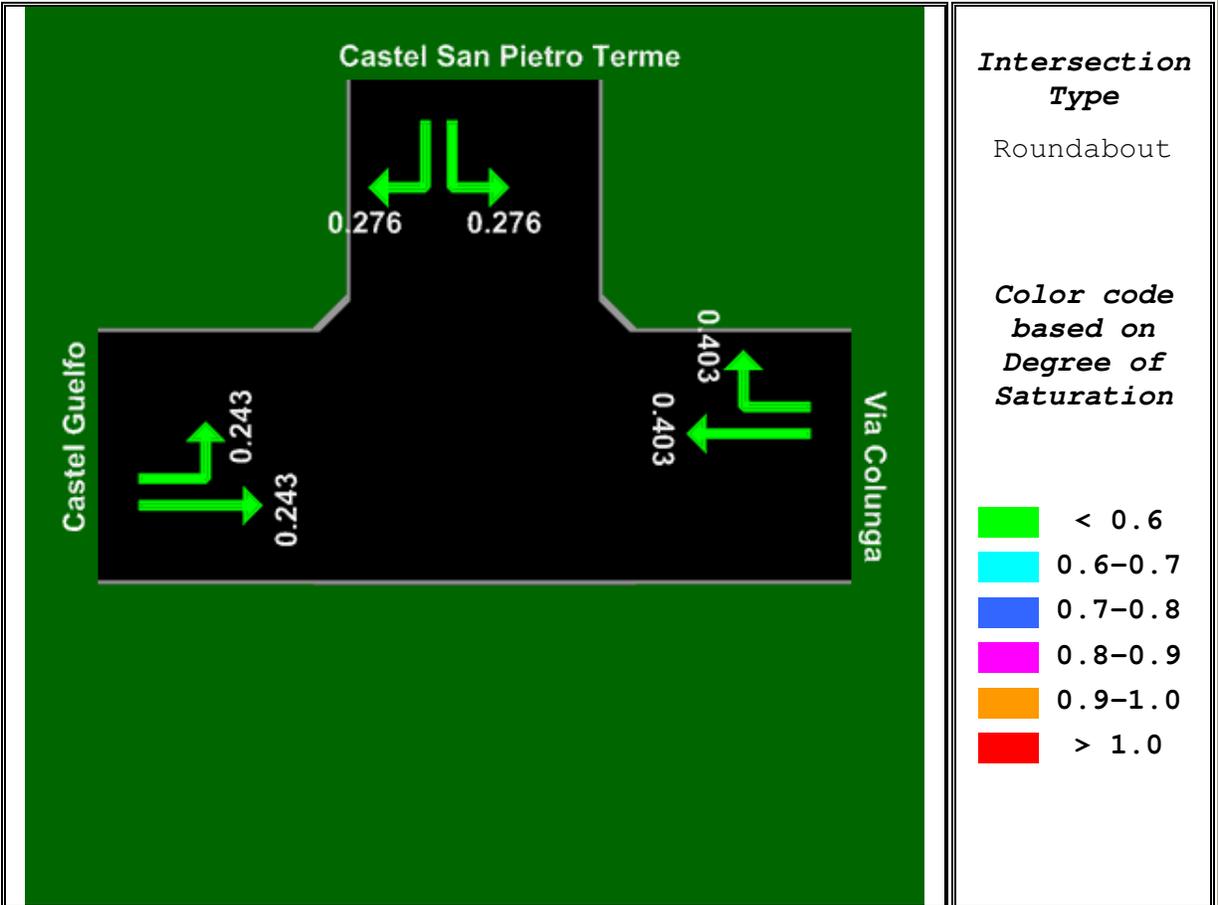
Ritardo medio (secondi)
3 Rotonda Colunga



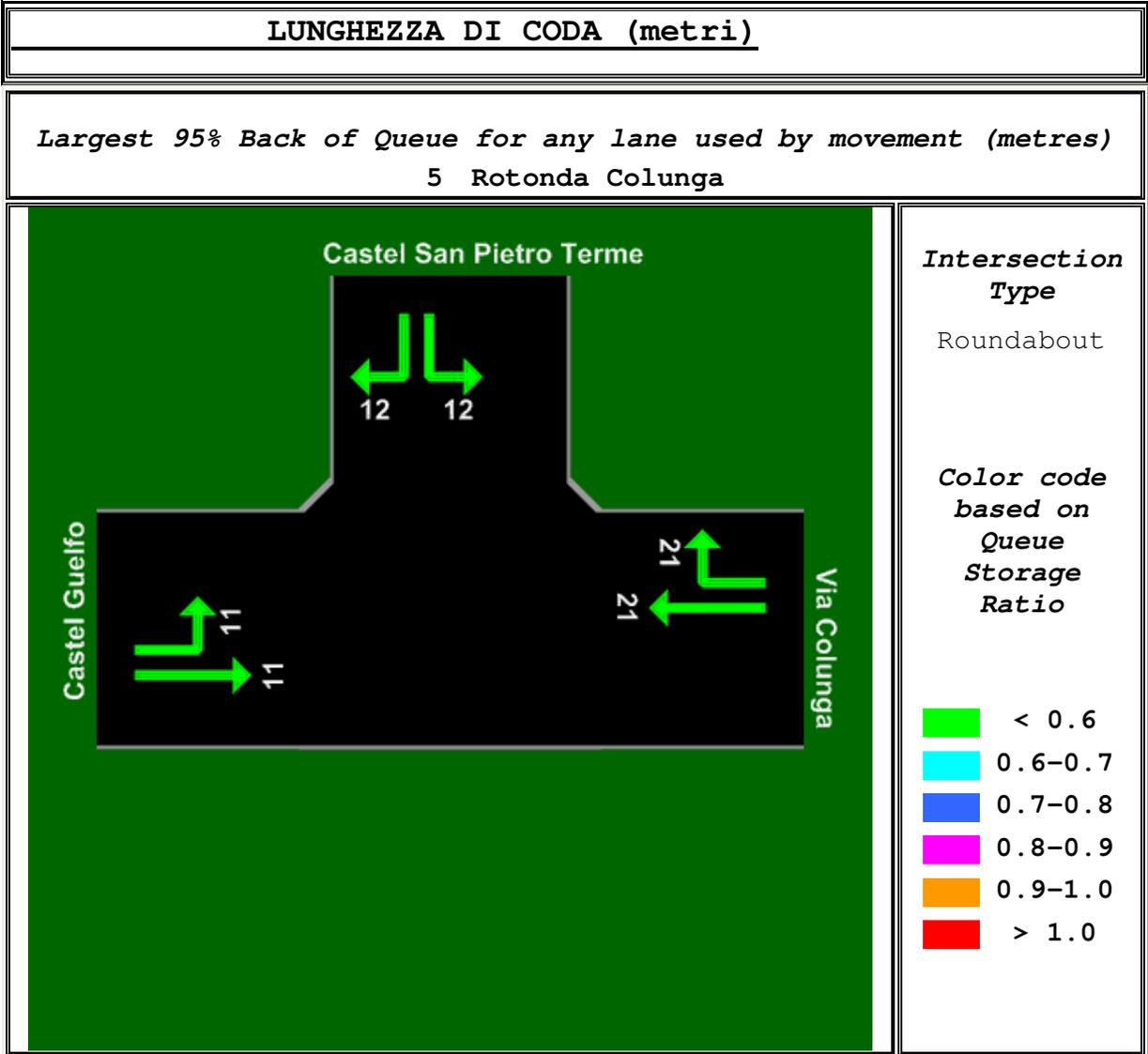
C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Rotonda Colunga
Produced by aaSIDRA 2.0.3.217 (Unregistered Version)
Copyright© 2000-2002

GRADO DI SATURAZIONE

Volume / Capacity (v/c)
4 Rotonda Colunga



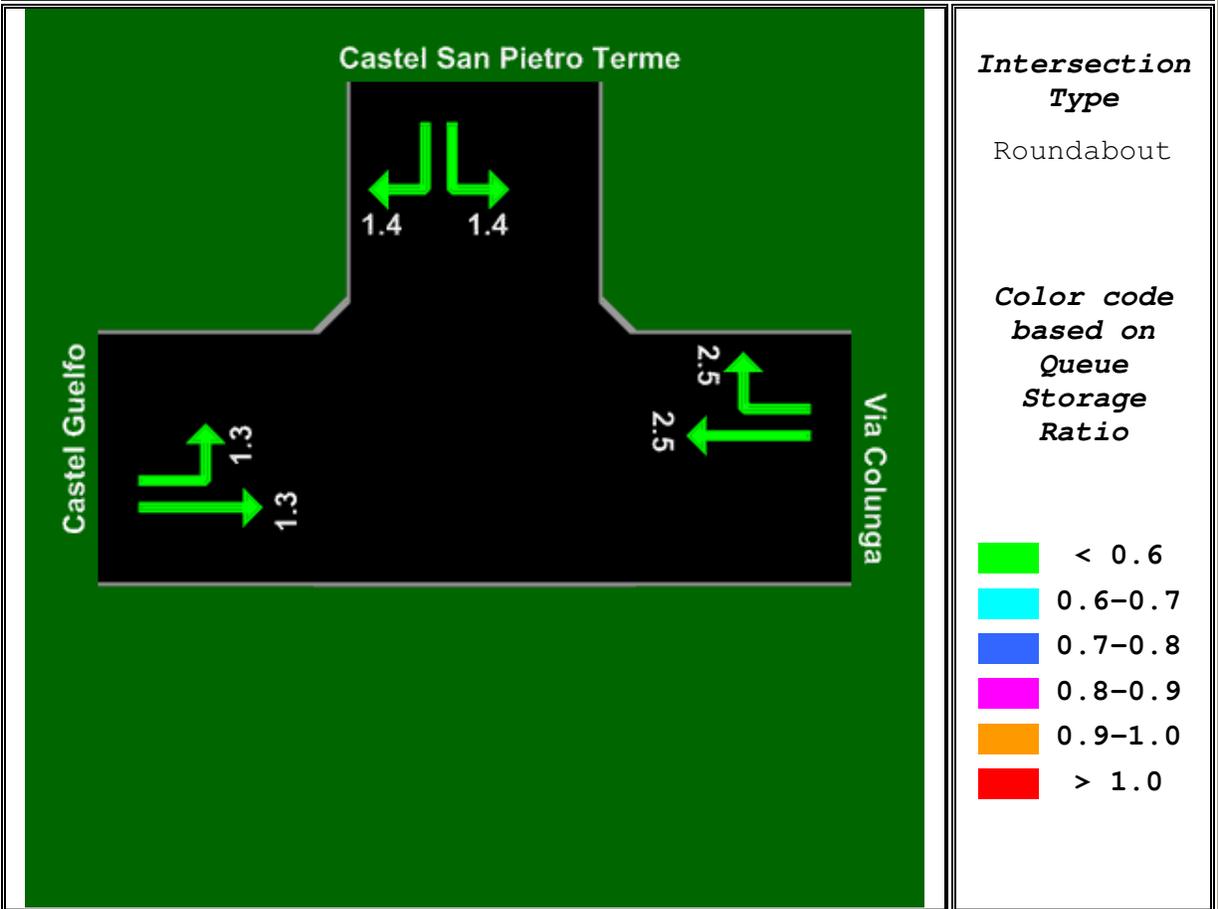
C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Rotonda Colunga
Produced by aaSIDRA 2.0.3.217 (Unregistered Version)
Copyright© 2000–2002



C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Rotonda Colunga
 Produced by aaSIDRA 2.0.3.217 (Unregistered Version)
 Copyright© 2000–2002

CODA (veicoli)

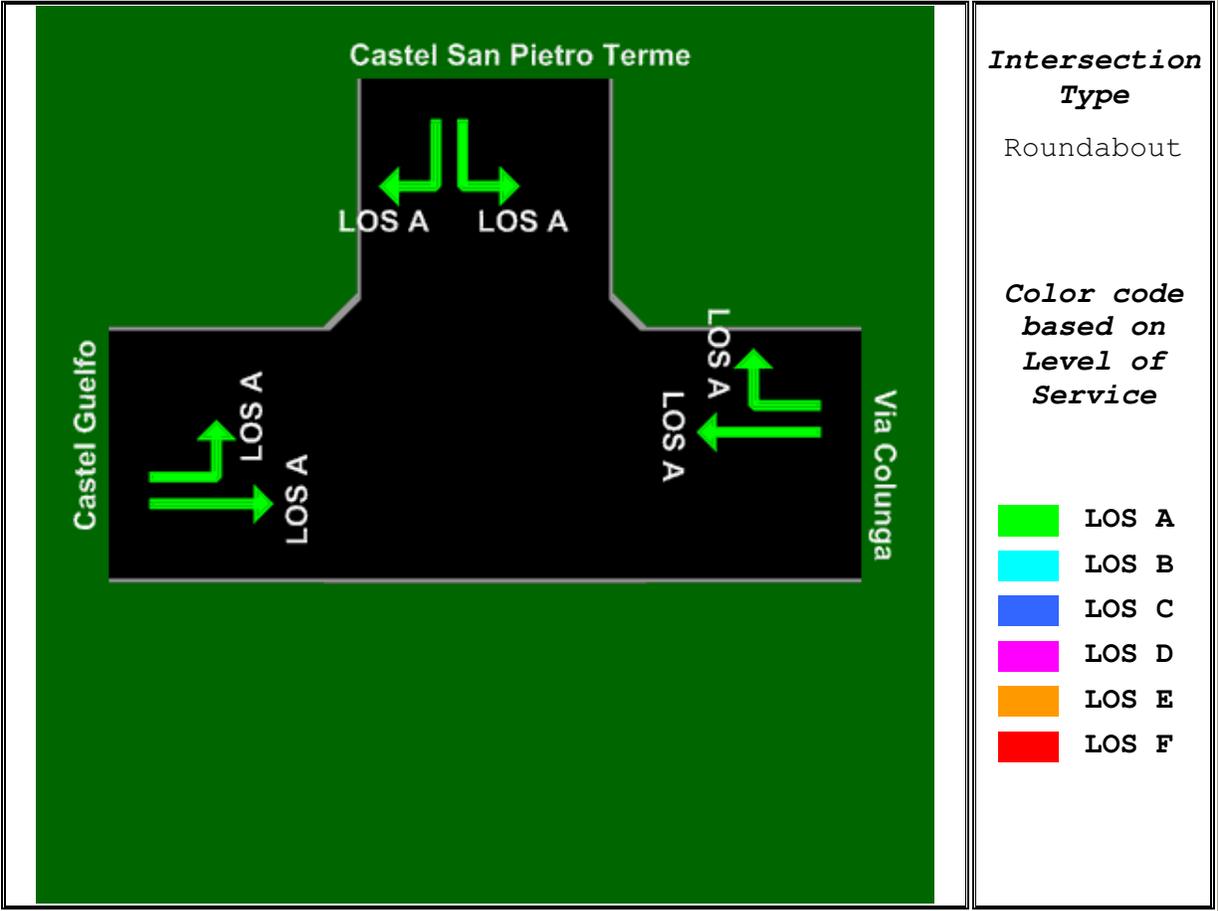
Largest 95% Back of Queue for any lane used by movement (vehicles)
6 Rotonda Colunga



C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Rotonda Colunga
Produced by aaSIDRA 2.0.3.217 (Unregistered Version)
Copyright© 2000-2002

LIVELLO DI SERVIZIO LOS

Basato sul ritardo (Metodo HCM)
7 Rotonda Colunga



C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Rotonda Colunga
Produced by aaSIDRA 2.0.3.217 (Unregistered Version)
Copyright© 2000-2002

Dai dati elaborati da SIDRA si può concludere che, nell'intersezione a rotatoria "Colunga", si hanno ottime fluidità di manovre e bassissimi ritardi avendo appunto un LOS A in tutti i rami di accesso.

Se confronto tali risultati con i risultati, in una sezione a caso, del LOS della vecchia SP 19 si può confermare che le rotatorie presentano vantaggi, nel caso di flusso equilibrato, rispetto agli altri tipi di intersezione.

ALLEGATO A

CORPO STRADALE

CAVALCAVIA

MANUFATTI SCATOLARI

SCELTE OPERATIVE

MATERIALI

FASI LAVORATIVE

MACCHINE ED ATTREZZATURE

CENNI D'IMPATTO AMBIENTALE

COSTO DELL'OPERA

Corpo stradale

Le caratteristiche geometriche dell'intervento sono:

- larghezza carreggiata ml. 11,50 comprensiva delle banchine laterali bitumate di ml. 2,00 cadauna (D.M. nr.5 /01 - cat. C1);
- larghezza carreggiata svincoli ml. 6,50;
- larghezza cigli erbosi ml. 0,75 cad.;
- raggio planimetrico minimo ml. 3,00 raccordato ai rettifili tramite curve a raggio variabile;
- pendenza longitudinale ramo principale < 3,65%;
- pendenza trasversale media 2,5%;
- rotatoria sulla S.P. 253 "S. Vitale" con raggio interno ml 25,00 e larghezza della carreggiata ml. 14,50;
- rotatoria sulla S.P. 31 "Colunga" con raggio interno ml 25,00 e larghezza della carreggiata ml. 15,00;
- pavimentazione in conglomerato bituminoso costituito da strato di base di spessore cm. 10 , binder si spessore cm.4 e tappeto d'usura di spessore cm. 3;
- fondazione realizzata con misto stabilizzato a granulometria assortita per uno spessore di cm. 35;
- rilevato stradale in materiali litoidi limo-sabbiosi (class.CNR-UNI 10006: A2-4);
- barriere di sicurezza stradale in acciaio su scarpate con H > ml 2,00 e su manufatti di scavalcamento. Classi di omologazione: H2 sulle banchine in terra e H3 a bordo ponte;
- parapetti in acciaio zincato a caldo e pannelli di sicurezza in rete metallica;

- barriere fonoassorbenti con pannelli metallici e lana minerale poste in prossimità dei ricettori sensibili secondo le risultanze dello studio acustico di V.I.A.

Cavalcavia

- cavalcavia a campata unica sulla S.P. 31 "Colunga" L = ml. 30 e H > ml. 5,20;
- cavalcavia a tre campate (ml. 25 + 35 + 25 = 85) sulla S.P. 253 "S. Vitale" , H > ml. 5,20 ml;
- cavalcavia a campata unica sulla S.P. 3 "Trasversale di Pianura" L = ml. 35 e H > ml. 5,20;

La larghezza del piano carrabile risulta essere di ml. 11,50 oltre a due marciapiedi per una larghezza globale dell'impalcato pari a ml. 14,40; l'impalcato è realizzato con travi prefabbricate a "V" ad ali larghe, collegate trasversalmente dalla soletta di impalcato dello spessore di cm. 25 e dai traversi di testata, insistente sulle pile e spalle mediante apparecchi di appoggio in neoprene armato; le pile (solo cavalcavia su S.P. 253) sono costituite da un complesso pulvino - pilastrata a 3 colonne - platea di fondazione realizzate in opera in cemento armato. Le platee di fondazione delle pile sono fondate su pali trivellati del diametro pari a mm. 1200 e lunghezza pari a ml. 27,50. Le spalle di tipo chiuso con muri andatori ed orecchie, realizzate in cemento armato impostate su platee di fondazione, ugualmente in cemento armato, fondate su pali trivellati del diametro pari a mm. 1000 e lunghezza pari a ml 30,00 (S.P. 31), ml 27.50 (S.P. 253) e ml 22.50 (S.P.3).

Manufatti scatolari di scavalcamento

Sono manufatti a struttura semi-scatolare in conglomerato cementizio armato con impalcato a travi prefabbricate appoggiate su soletta in cemento armato. Sono presenti nr. 3 sottopassi ad uso agricolo, di lunghezza ml. 5,00 ed altezza ml. 4,50 e nr. 4 sottopassi sulle strade vicinali e comunali Via Cartara, Via Roslè, Via Villa Fontana lunghe ml. 11,00 ed alte ml. 4,75 - Via Comastri lunga 10,00 ml ed alta 3,80 ml.

Il piano carrabile risulta essere di ml. 11,50 oltre a due marciapiedi per una larghezza globale dell'impalcato pari a ml. 13,40.

Scelte operative in fase di realizzazione

Le diverse alternative sono state valutate dai progettisti in funzione dei seguenti parametri:

- localizzazione sul territorio dei tracciati;
- diverso dimensionamento delle opere stradali;
- diversi livelli di esercizio;
- diversificazione nella scelta dei processi e dei metodi di lavoro;
- diversi modi di gestire o soddisfare la domanda di trasporto;
- diversità dei tipi e delle fonti di materia prima;
- diverse mitigazioni degli impatti ambientali in fase d'esercizio;
- diversa tempistica, scelta dei tempi di lavoro e di esercizio, programmi di attuazione e gestione.

Le alternative che sono state analizzate in sede di progetto furono:

- allargamento della vecchia sede stradale con correzione delle caratteristiche geometriche del tracciato: tale soluzione non si è ritenuta idonea per la presenza degli accessi carrai sulla sede stradale e la presenza di numerosi edifici prospicienti, che di fatto hanno costituito impedimento all'adeguamento geometrico del tracciato ed alla sua messa in sicurezza;
- un nuovo percorso che utilizzasse in parte le viabilità comunali esistenti di Via Cartara e Via Roslè: tale soluzione non è potuta essere percorribile per gli stessi motivi sopra esposti e per l'allontanamento del tracciato della sede stradale della strada provinciale esistente con conseguente difficoltà nell'innesto lato Poggio e allungamento del percorso;
- un nuovo percorso che utilizzasse in parte la Strada Comunale Cappellazzo: tale soluzione oltre a presentare gli stessi problemi delle due sopra, si discosta di molto dalla sede stradale della strada provinciale e quindi il collegamento dei due punti partenza e di arrivo, avverrebbero attraverso un tracciato notevolmente più lungo con conseguente maggiore impatto sul territorio e maggiori costi.

Il tracciato proposto in fase di progetto rappresenta il giusto compromesso tra le esigenze progettuali qui elencate:

- assenza di incroci a raso;
- assenza di accessi carrai;
- distanza dalle abitazioni;
- caratteristiche dimensionali e plano - altimetriche della piattaforma stradale;
- minor lunghezza del percorso;
- rispetto dei confini e della trama dei fondi agricoli interessati.

Le soluzioni tecniche prescelte, tra cui la piattaforma stradale con un franco medio di ml. 1,00 sul piano di campagna con innalzamento in prossimità dei ponti e dei sottopassi, hanno permesso il mantenimento della viabilità locale, interpodereale ed agricola tramite manufatti scatolari sottopassanti l'opera non interrati e che dunque non hanno richiesto, a vantaggio della sicurezza e della funzionalità, l'ausilio di impianti di pompaggio per lo smaltimento delle acque.

Infatti, come già ribadito, il mantenimento del tracciato con lavori di semplice allargamento della carreggiata è stato impedito dalle numerose costruzioni prospicienti la sede stradale che hanno impedito sia il semplice allargamento della carreggiata, sia la realizzazione di svincoli a livelli differenziati, necessari, in considerazione dell'importanza che assumerà la strada, a garantire la sicurezza della circolazione.

La scelta sulla variante stradale è risultata dunque obbligatoria, ed il tracciato proposto è frutto di un attento studio di più alternative rappresentando il giusto compromesso tra le esigenze progettuali ed il rispetto dei confini e della trama dei fondi agricoli interessati; si è evitato, ove possibile, di intersecare le proprietà con angolazioni eccessive del tracciato, cercando di creare pochi relitti fondiari che avrebbero costituito un ulteriore aggravio di spesa per l'Amministrazione.

La costruzione dell'opera non ha prodotto materiali di risulta, non essendo state realizzate demolizioni e la terra proveniente dagli sbancamenti è stata riutilizzata in loco per il rivestimento delle scarpate in quanto l'analisi della caratterizzazione della terra ha dato esito positivo.

In ogni caso il capitolato aveva previsto tra gli oneri a carico dell'Impresa l'allontanamento dal cantiere di eventuali materiali di risulta da demolizioni e scavi, anche se di proprietà della Provincia, nonché degli scarti del cantiere con previa

acquisizione dei necessari permessi e/o concessioni e con osservanza delle norme specifiche in materia di recupero e smaltimento rifiuti.

Tra gli oneri a carico dell'Impresa hanno gravato anche la conservazione delle piante entro il perimetro del cantiere, la pulizia quotidiana dello stesso e quella definitiva al termine dei lavori effettuata entro quindici giorni dall'ultimazione dei lavori.

Il capitolato ha inoltre previsto che l'impresa realizzasse tutte le opere per l'allontanamento delle acque superficiali e di infiltrazione nei cavi, con serbatoi di contenimento di lubrificanti e carburanti di tipo omologato con vasca sottostante per la raccolta dei reflui inquinanti.

Stessa cosa per quanto riguarda presidi igienico - sanitari allacciati alla rete fognaria comunale.

Durante le fasi lavorative non sono state realizzate lavorazioni critiche in materia di inquinamento ambientale e di emissioni rumorose. Le uniche sostanze inquinanti e le uniche emissioni rumorose sono state quelle derivanti dai mezzi d'opera.

Si sottolinea inoltre che il tracciato è stato realizzato in aree che erano coltivate, quindi i potenziali ricettori sensibili erano a distanze tali da non risentire in modo significativo del rumore prodotto dai mezzi d'opera.

Tutti gli impianti esistenti sono stati segnalati sia in loco con nastri e fettuccine, proteggendoli ove pericolosi, sia su apposito elaborato grafico del progetto esecutivo, previa segnalazione da parte degli Enti gestori. Pertanto la possibilità di accadimento di incidenti, in relazione alla presenza di infrastrutture, è stata valutata fin dall'inizio abbastanza bassa. I rischi di incidente specifici legati all'attività di cantiere sono stati comunque dettagliati nel Piano di Sicurezza e Coordinamento redatto in fase di progetto esecutivo.

La durata relativamente breve del cantiere non ha previsto di realizzare opere di mitigazione provvisorie vere e proprie. E' stato comunque vincolante per l'impresa appaltante, operare al fine di ridurre per quanto possibile l'impatto delle lavorazioni attraverso la conservazione della vegetazione presente.

Il tracciato, in quanto tale, con l'avanzamento dei lavori ha avuto uno sviluppo lineare delle attività e questa configurazione ha permesso quindi di utilizzare il tracciato stesso come sede di cantiere e quindi di occupare solo pochi spazi esterni al tracciato.

Per quanto riguarda lo smaltimento delle acque di scorrimento in fase d'esercizio e analizzando la cartografia è possibile individuare le zone di pertinenza fluviale che, nell'area di studio, sono le zone circostanti il Canale di Medicina e lo Scolo degli Agonizzanti. Entrambi sono però corsi d'acqua ad immissione controllata, pertanto anche gli eventuali effetti di eventi di pioggia significativi possono essere mitigati attraverso l'adeguata regolazione dell'immissione. La rete di drenaggio è inoltre classificata, dal Consorzio di Bonifica Renana, con indice di sicurezza idraulica tra 0,86 e 1,00; il calcolo dell'indice di sicurezza idraulica è effettuato come rapporto fra la portata massima che defluisce in moto uniforme e la portata idrologica di prefissato tempo di ritorno.

La rete ha un indice di efficacia idraulica che per tutto il tracciato è compreso tra 0,83 e 1,00 salvo un breve tratto con indice tra 0,33 e 0,60. L'indice di efficacia idraulica valuta la capacità della rete scolante di assicurare ai terreni un ottimale franco di bonifica. Si definisce franco di bonifica ottimale, un dislivello fra il piano di campagna e la falda superficiale pari o superiore a metri 1,00. Per la determinazione di tale indice si è proceduto verificando il franco di bonifica ottimale, così definito, e si sono valutate, tronco per tronco, la quota

idrometrica del franco ottimale e la probabilità che questa quota si verifichi. Si è considerata, come condizione di massima efficacia, una situazione in cui il franco abbia una probabilità di non essere garantito superiore ai 50 anni. Nel caso in cui il franco ottimale si verifichi con tempo di ritorno inferiore ai 50 anni si è calcolata la distanza fra il piano di campagna e la quota massima che defluisce all'interno della sezione presa a riferimento. Assumendo che il tracciato si sviluppa in un'area con valori sia di sicurezza che di efficienza idraulica molto vicini a 1, si ritiene che, in questa zona, la rete scolante sia in condizioni tali da ben sopportare condizioni di piovosità estreme senza creare conseguenza per il territorio circostante.

Per l'allontanamento delle acque meteoriche ricadenti lungo il tracciato si è realizzato un sistema costituito da una rete di fossi di raccolta che corrono lungo tutto il percorso.

Quindi nei fossi a lato strada vengono raccolte tutte le acque meteoriche ricadenti sulla superficie impermeabile della strada, comprese le acque di prima pioggia (i primi mm. 5,00 caduti sull'area impermeabilizzata), cioè quelle aventi carico potenzialmente inquinante più elevato. Infatti, le acque di prima pioggia arrivano al suolo già inquinate da particelle e sostanze atmosferiche solubilizzate. Al contatto con la superficie del suolo però si caricano ulteriormente della maggior parte delle sostanze inquinanti originate da rifiuti del traffico veicolare. Data la natura degli inquinanti si è deciso di far coincidere il primo trattamento con la permanenza stessa delle acque nei fossi di raccolta. Il fosso vegetato, opportunamente dimensionato, in questo modo funge da primo sedimentatore per il particolato trasportato dalle acque di prima pioggia, attuando quindi una separazione della frazione grossolana ed impedendo che la stessa raggiunga il corpo ricettore.

Materiali

Per la costruzione dell'opera sono stati utilizzati:

- mc 350.000 circa di materiali litoidi, limo-sabbiosi classificati A2-4 secondo la CNR-UNI 10006 per il rilevato stradale provenienti da cave;
- mc 29.000 circa di misto granulometricamente stabilizzato per strato di fondazione provenienti da cave;
- mc 9000 circa di conglomerato bituminoso per pavimentazioni stradali - strato di base (s = cm 10);
- mc 4500 circa di conglomerato bituminoso per pavimentazioni stradali - strato di binder (s = cm 5);
- mc 2700 circa di conglomerato bituminoso per pavimentazioni stradali - strato di usura (s = cm 3);
- mc 7800 circa di calcestruzzo per strutture di fondazione ed elevazione di ponti e sottopassi;
- tonnellate 550 circa di acciaio per cemento armato;
- ml. 660 circa di travi precomprese sez. 0.70 * 0.30-0.40;
- ml. 910 circa di travi precomprese sez. a V dim. 2.00 * 1.60.

I materiali e le forniture hanno avuto corrispondenza alle prescrizioni di legge, a quelle del Capitolato e sono stati scelti in base alla migliore qualità e la perfetta lavorazione. L'Appaltatore ha avuto l'obbligo di notificare alla Stazione Appaltante, 15 giorni prima dell'impiego, la provenienza dei materiali e delle forniture per il prelevamento dei campioni da sottoporre, alle prove e verifiche che la Stazione appaltante ritenesse necessarie prima di accettarli.

L'Impresa è stata obbligata a presentare periodicamente dei campioni ai Laboratori Ufficiali prescelti dalla Stazione appaltante prelevati in contraddittorio. I risultati ottenuti in

tali Laboratori sono i soli riconosciuti validi dalle due parti e ad essi si è fatto esclusivo riferimento a tutti gli effetti delle Norme Tecniche.

Acqua: l'acqua utilizzata in cantiere deve essere dolce, limpida, non aggressiva e priva di materie terrose.

Non sono state impiegate:

- le acque eccessivamente dure od aventi alto tenore di solfati e di cloruri, gessose;
- le acque di rifiuto, anche se limpide, provenienti da fabbriche chimiche in genere, da aziende di prodotti alimentari, da concerie od altre aziende industriali;
- le acque contenenti argille, humus, limi;
- le acque contenenti residui grassi, oleosi e zuccherini;
- le acque piovane prive di carbonati e di bicarbonati che potrebbero favorire la solubilità della calce e quindi impoverire l'impasto.

I cementi: i cementi oltre a rispondere dei requisiti richiesti dalla normativa vigente sono stati approvvigionati in cantiere a disposizione della Direzione Lavori, per il preventivo esame, 1 mese prima del loro impiego e conservati in magazzini coperti, perfettamente asciutti e senza correnti d'aria. L'introduzione in cantiere di ogni partita di cemento sciolto è stato registrato nel giornale dei lavori. L'aggiunta ai cementi di materie per accelerare o ritardare la presa dei conglomerati, o per ritardarne od accelerarne l'indurimento, oppure per migliorarne la lavorabilità, la impermeabilità, la resistenza al gelo od altro, è sempre stata avallata dalla Direzione Lavori.

Sabbia: per murature si è utilizzata la sabbia ordinaria ovvero quella passante allo staccio 2 UNI 2332. Per intonaci, rifiniture di superfici, stuccatura delle murature di paramento e simili lavori, è stata impiegata sabbia passante allo staccio 0,5 UNI 2332. Per le opere in conglomerato cementizio semplice od armato la sabbia usata ha i requisiti prescritti dalla legge 5.11.71 nr. 1086 e nel D.M. in vigore sulle norme tecniche C.A.O.. La distribuzione granulometrica è sempre stata adeguata alla particolare destinazione del getto ed al procedimento di posa in opera del conglomerato. Per la sabbia impiegata nelle costruzioni stradali si sono osservate tutte le norme contenute nel fascicolo nr. 4 ultima edizione del C.N.R. - "Norme per l'accettazione dei pietrischi, delle graniglie, delle sabbie e degli additivi per costruzioni stradali".

Ghiaia: la ghiaia è formata da elementi resistenti, inalterabili all'aria, all'acqua ed al gelo e sono stati esclusi dall'impiego elementi a forma di ago o di piastrelle.

La ghiaia impiegata per le opere in conglomerato cementizio semplice od armato ha risposto ai requisiti prescritti dalla legge 5.11.1971 nr. 1086 e nel D.M. in vigore sulle Norme Tecniche C.A.O.. La distribuzione granulometrica e le dimensioni massime degli inerti costituenti la miscela sono stati adeguati alla particolare destinazione del getto ed al procedimento di posa in opera del conglomerato.

Per i lavori di fondazione e per manufatti di forte spessore, è stata impiegata di norma la ghiaia passante al crivello 71 UNI 2334 restando trattenuta da quello 40 UNI 2334. Per la ghiaia impiegata nelle costruzioni stradali è stata utilizzata quella osservante tutte le norme contenute nel fascicolo nr. 4/ ultima edizione del C.N.R. - "Norme per l'accettazione dei pietrischi, delle graniglie, delle sabbie e degli additivi per costruzioni stradali".

Pietrisco-Graniglie: il pietrisco e le graniglie provengono dalla spezzettatura di rocce silicee, di porfido e di granito.

Il pietrisco impiegato in sostituzione della ghiaia per le opere in conglomerato cementizio semplice od armato ha i requisiti prescritti per la ghiaia da impiegarsi per tali opere. Non sono stati utilizzati i pietrischi provenienti dalla frantumazione di scaglie o di residui di cava.

Pietre naturali: le pietre naturali impiegate hanno avuto rispondenza ai requisiti di non essere gelive, né igroscopiche o porose, né assorbire acqua per capillarità, né disgregarsi sotto l'azione del gelo. Le pietre scelte sono compatte ed omogenee, sono risultate facilmente lavorabili ed avere efficace adesività alle malte. La resistenza meccanica delle pietre, quella all'azione disgregatrice causata dal gelo, le proprietà fisiche, ecc., verranno determinate secondo le prove stabilite dal R.D. 16.11.1939 n. 2232.

Materiali metallici: i materiali impiegati sono stati sottoposti ad analisi chimica e sono risultati esenti da impurità e da sostanze anormali. I materiali impiegati per le strutture in cemento armato sono gli acciai in barre tonde lisce corrispondenti ai tipi Fe B 22K e Fe B 32K, così come definiti dal D.M. in vigore sulle Norme Tecniche C.A.O.. Gli acciai ad aderenza migliorata dovranno corrispondere ai tipi Fe B 38K e Fe B 44K di cui al D.M. in vigore sulle Norme Tecniche C.A.O..

Bitume: per il bitume, il bitume liquido e le emulsioni bituminose sono state osservate le norme contenute nei seguenti fascicoli editi dal C.N.R. - Commissione di studio dei materiali stradali ed alla costruzione e manutenzione delle strade:

- “Norme per l'accettazione dei bitumi per usi stradali”.
- “Norme per l'accettazione dei bitumi liquidi per usi stradali”
- “Norme per l'accettazione delle emulsioni bituminose per usi stradali”.

Il bitume impiegato per i trattamenti superficiali ha una penetrazione 180/200, quello impiegato per il binder e il tappeto d'usura ha una penetrazione 80/100 - 60/80.

L'emulsione bituminosa contiene in tutti i provini non meno del 55% di bitume puro.

Tubi di cemento: i tubi di cemento sono formati con un impasto di conglomerato cementizio vibrato e centrifugato a pressione costante, dosato a Kg. 350 di cemento per metro cubo di idoneo miscuglio secco di materia inerte. I tubi, come da normativa, sono ben stagionati, rettilinei, a sezione interna perfettamente circolare, di spessore uniforme e senza screpolature, le superfici interne ed esterne perfettamente lisce. Tutta la superficie di innesto dei tubi, sia nella parte a maschio che in quella a femmina, è stata posata perfettamente integra e con lunghezza dell'innesto dei tubi almeno uguale allo spessore dei tubi stessi.

Strati di base in terra stabilizzata con cemento: la qualità e la granulometria dei materiali, elementi che nel caso in oggetto rivestono particolare importanza, rispondono tutti alle norme C.N.R. - UNI 10006 “Tecnica di impiego delle terre” e a quanto prescritto dalla norma C.N.R. nr. 139/92 tabella 4 (traffici pesanti), requisiti di accettazione degli aggregati per misti cementati. In particolare si precisa che sono stati impiegati: aggregati di dimensioni non superiori a mm. 40 e senza elementi di forma appiattita, allungata o lenticolare; aggregati con coefficiente di frantumazione minore a 160; aggregati con un

equivalente in sabbia compreso fra 35 e 55 in modo che la percentuale di cemento non sia tale da provocare fessurazioni per ritiro.

Come legante è stato utilizzato un cemento normale tipo Portland con una percentuale di cemento compresa tra il 3% ed il 5% in peso sul peso degli inerti asciutti. La percentuale esatta di cemento, come pure la percentuale di acqua, sono state stabilite in relazione alle prove di resistenza eseguite a compressione sui provini cilindrici confezionati entro stampi CBR (C.N.R. - UNI 10009) impiegati senza disco spaziatore (altezza cm. 17,78, diametro cm. 15,24, volume mc. 0,03242); per il confezionamento dei provini gli stampi sono muniti di collare di prolunga allo scopo di consentire il regolare costipamento dell'ultimo strato con la consueta eccedenza di circa cm. 1 rispetto all'altezza dello stampo vero e proprio. La miscela di studio è preparata partendo da tutte le classi previste per gli inerti, mescolandole tra loro, con il cemento e l'acqua nei quantitativi necessari ad ogni singolo provino. La miscela è stata costipata su 5 strati con il pestello, con l'altezza di caduta di cui alla norma AASHO T 180 e con 85 colpi per strato, in modo da ottenere una energia di costipamento pari a quella della prova citata (diametro pestello mm. 50,8, peso pestello Kg. 4,54, altezza di caduta cm. 45,7). I provini sono stati estratti dallo stampo dopo 24 ore e portati successivamente a stagionatura per altri 6 giorni in ambiente umido. Operando ripetutamente nel modo suddetto, con impiego di percentuali in peso d'acqua diverse (sempre riferite alla miscela interna, compreso quanto eliminato per vagliatura sul crivello di mm. 25) si sono determinati i valori necessari al tracciamento dei diagrammi di studio per il cantiere in oggetto. Lo stesso dicasi per le variazioni della percentuale di legante.

Pavimentazioni in conglomerato bituminoso: lo strato di base è costituito da un conglomerato bituminoso di tipo "semichiuso" o

“semiaperto”, formato da un misto granulare di ghiaia, pietrisco, graniglia, sabbia ed additivo (“filler”), impastato con bitume a caldo, previo riscaldamento ed essiccazione degli aggreganti, steso in opera con macchina vibro finitrice e rullato a fondo. Nella composizione dell’aggregato grosso (totale trattenuto al setaccio ASTM nr. 10), il materiale frantumato è presente almeno per il 40% rispetto al peso dell’intera miscela di aggregati. L’aggregato grosso è costituito da una miscela di ghiaia, pietrisco e graniglia rispondente ai seguenti requisiti: dimensione massima mm. 40 (valida per uno spessore finito dello strato di base di almeno cm. 7); forma approssimativamente sferica (ghiaie) o poliedrica (pietrischi), comunque non appiattita, allungata o lenticolare; coefficiente di frantumazione non superiore a 160; resistenza a compressione, non inferiore a Kg/cm² 1200; perdita in peso per decantazione non superiore a 1%; materiale non idrofilo con limitazione a massima dello 0,7% della perdita in peso dopo scuotimento; perdita in peso alla prova di abrasione Los Angeles non superiore al 25%. L’aggregato fino è costituito da sabbia naturale e di frantumazione rispondente ai seguenti requisiti: perdita in peso per decantazione non superiore a 2%; equivalente in sabbia non inferiore a 50; materiale non idrofilo con limitazione a massima dello 0,7% della perdita in peso dopo scuotimento. L’additivo minerale (filler) è derivato dalla frantumazione di rocce calcaree. Il legante bituminoso è un bitume semisolido rispondente alla norma C.N.R. 68/1978 (“Norme per l’accettazione dei bitumi per usi stradali - caratteristiche per l’accettazione”. La miscela adottata per i materiali inerti presenta una curva granulometrica ad andamento sostanzialmente continuo. Il contenuto di bitume nell’impasto è compreso fra 3,5% e 4,5% riferito al peso secco totale degli inerti. Esso è stato comunque determinato come il minimo necessario e sufficiente ad ottenere il raggiungimento dei valori di stabilità Marshall e di compattezza come : elevata resistenza meccanica, cioè capacità di

sopportare le sollecitazioni statiche o dinamiche senza rotture o deformazioni permanenti; idonea visco-elasticità, cioè comportamento opportunamente equilibrato fra i due estremi della rigidità e della plasticità; la stabilità Marshall dell'impasto; lo scorrimento Marshall dell'impasto; idonea capacità portante; congruo riempimento parziale con bitume dei vuoti intergranulari della miscela degli inerti costipata: la percentuale dei vuoti riempiti con bitume risulta compresa fra 65% e 75% in volume; addensamento e compattezza idonei.

Strato di collegamento (Binder) in conglomerato bituminoso semichiuso: lo strato di collegamento è costituito da un conglomerato bituminoso semichiuso, cioè da una miscela ben graduata di pietrischetti, graniglie, sabbia ed additivo minerale ("filler"), impastata con bitume a caldo, previo riscaldamento ed essiccazione degli aggregati, stesa in opera con macchina vibro finitrice e rullata a fondo. L'aggregato grosso è costituito da una miscela di pietrischetti e graniglie - tutti provenienti da frantumazione di pietrame, ciottoli o ghiaie e risponde ai seguenti requisiti: dimensione massima mm. 25 (valida per uno spessore finito dello strato di collegamento di almeno cm. 4); forma poliedrica a spigoli vivi, comunque non appiattita, allungata o lenticolare; coefficiente di frantumazione non superiore a 140; indice dei vuoti delle singole pezzature minore di 0,80; resistenza a compressione non inferiore a Kg/cmq 1200; perdita in peso per decantazione non superiore a 1%; coefficiente di imbibizione non superiore a 0,008; materiale non idrofilo con limitazione a massima dello 0,5% della perdita in peso dopo scuotimento; perdita in peso alla prova di abrasione Los Angeles non superiore al 25%. L'aggregato fino è costituito da sabbie naturali e di frantumazione, dure, pulite ed esenti da polveri e da altri minerali estranei e risponde ai seguenti requisiti: perdita in peso per decantazione non superiore a 2%; equivalente

in sabbia non inferiore a 50; materiale non idrofilo con limitazione a massima dello 0,5% della perdita in peso dopo scuotimento. L'additivo minerale (filler) deriva dalla frantumazione di rocce calcaree. Il legante è un bitume semisolido rispondente alla norma C.N.R. 68/1978 ("Norme per l'accettazione dei bitumi per usi stradali - caratteristiche per l'accettazione". Il contenuto di bitume nell'impasto è compreso fra 4% e 5% riferito al peso secco totale degli inerti. Esso è stato comunque determinato come il minimo necessario e sufficiente ad ottenere il raggiungimento dei valori di stabilità Marshall e di compattezza, di seguito precisati: elevata resistenza meccanica; idonea viscoelasticità; la stabilità Marshall dell'impasto; lo scorrimento Marshall dell'impasto; idonea capacità portante; il rapporto fra stabilità e scorrimento Marshall dovrà comunque risultare pari almeno a Kg/mm 300; congruo riempimento parziale con bitume dei vuoti intergranulari della miscela degli inerti costipata compresa fra 70% e 80% in volume; addensamento e compattezza idonei.

Strato di usura in conglomerato bituminoso chiuso: il manto di usura è costituito da un conglomerato bituminoso chiuso (calcestruzzo bituminoso), cioè da una miscela molto ben graduata di pietrischi di piccole dimensioni, additivo minerale ("filler"), impastata con bitume a caldo, previo riscaldamento ed essiccazione degli aggregati, stesa in opera con macchina vibro finitrice e rullata a fondo. L'aggregato grosso è costituito da una miscela di pietrischi di piccole dimensioni e graniglie, tutti provenienti da frantumazione di pietrame, ciottoli o ghiaie e risponde ai seguenti requisiti: dimensione massima mm. 15 (valida per uno spessore finito del manto di usura di almeno cm. 3); forma poliedrica a spigoli vivi, comunque non appiattita, allungata o lenticolare; coefficiente di frantumazione non superiore a 120; indice dei vuoti delle singole pezzature minore di 0,80; resistenza a compressione non inferiore a kg/cmq 1400; perdita in

peso per decantazione non superiore a 1%; coefficiente di imbibizione non superiore a 0,008; materiale non idrofilo con limitazione a massima dello 0,5% della perdita in peso dopo scuotimento; perdita in peso alla prova di abrasione Los Angeles non superiore al 20%. L'aggregato fino è costituito da materiale di frantoio e da una miscela di sabbia di frantoio e naturale in rapporto non inferiore a 1:1 e risponde ai seguenti requisiti: perdita in peso per decantazione non superiore a 2%; equivalente in sabbia non inferiore a 60; materiale non idrofilo con limitazione a massima dello 0,5% della perdita in peso dopo scuotimento. L'additivo minerale (filler) proviene dalla frantumazione di rocce calcaree. Il legante è un bitume semisolido rispondente alla norma C.N.R. 68/1978 ("Norme per l'accettazione dei bitumi per usi stradali - caratteristiche per l'accettazione". Il contenuto di bitume nell'impasto è compreso fra 5,5% e 6,5% riferito al peso secco totale degli inerti. Esso è comunque determinato come il minimo necessario e sufficiente ad ottenere il raggiungimento dei valori di stabilità Marshall e di compattezza. La superficie finita dell'impasto bituminoso messo in opera nel manto di usura ha elevate caratteristiche di scabrezza ed anti sdrucchiolevolezza che, in funzione delle caratteristiche degli aggregati adoperati e segnatamente della resistenza all'usura ed all'abrasione, che devono mantenersi tali il più a lungo possibile sotto il traffico.

Conglomerato cementizio : nella progettazione e nell'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato l'impresa esecutrice ha osservato le norme della Legge 5.11.1971 nr. 1086, le "Norme Tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M. in vigore, nonché le Norme UNI in particolare le UNI 9858 e le U.N.I. 8981 "Durabilità delle opere e manufatti di calcestruzzo").

Per quanto attiene le qualità e proprietà dei materiali, si è osservato quanto segue:

Inerti: gli inerti impiegati per i conglomerati cementizi sono di diverse pezzature e la scelta è stata fatta in dipendenza del tipo di struttura da eseguire: generalmente si sono adottati tre pezzature per le ghiaie e pietrischi e due per la sabbia nelle proporzioni indicate dall'apposita curva granulometrica. L'Appaltatore ha osservato le seguenti norme: quando la sabbia e la ghiaia (o pietrisco) erano già mescolate in cantiere, e quindi con previa autorizzazione della Direzione Lavori, sono state effettuate prove granulometriche, al fine di accertare che il miscuglio presentasse composizione corrispondente alla curva prescritta dalla Direzione Lavori; quando la sabbia e la ghiaia (o pietrisco) sono arrivate in cantiere separatamente, è stato in un primo tempo accertato che la composizione granulometrica della sabbia corrispondesse alla curva prescritta dalla Direzione Lavori e poi è stata effettuata la prova sul miscuglio. Procedendo poi per successive correzioni si sono determinati i valori dei singoli componenti in modo da soddisfare la condizione voluta dalla Direzione Lavori. Si è poi dovuto determinare la percentuale d'acqua contenuta negli inerti.

Le prove sopra indicate sono state effettuate con opportuno anticipo rispetto al termine previsto per l'inizio delle strutture in conglomerato cementizio.

Leganti: nelle opere in conglomerato cementizio semplice od armato sono stati impiegati esclusivamente cementi definiti dalle norme in vigore per i leganti idraulici; inoltre ogni legante idraulico impiegato ha avuto corrispondenza anche coi requisiti indicati dalla legge 5.11.1971 nr. 1086 e dal D.M. in vigore sul C.A.O. Norme Tecniche. La dosatura del cemento nel conglomerato è stata tale da ottenere la resistenza caratteristica prescritta per i singoli getti.

Acqua d'impasto: restando fermo quanto disposto dalla legge 5.11.1971 nr. 1086 e dal D.M. in vigore sul C.A.O. Norme Tecniche e ritenuto che l'eccesso d'acqua costituisce causa fondamentale nella riduzione di resistenza nel conglomerato, nella determinazione della quantità di acqua per l'impasto si è tenuto conto anche di quella contenuta negli inerti; pertanto è stata controllata l'umidità degli inerti in modo da dedurre l'acqua risultante dalla quantità totale calcolata per l'impasto. Nel caso di costipamento per vibrazione si è particolarmente studiato il quantitativo d'acqua d'impasto per evitare che con l'energico assestamento, l'eventuale eccesso d'acqua rifluisse trascinando con sé una parte del cemento. In ogni caso il calcestruzzo in cantiere è stato consegnato con classe di consistenza richiesta (SLUMP), classe di consistenza che si è mantenuta invariata durante tutto il periodo di scarico.

Armatura per le opere in C.A. : con riferimento alla legge 5.11.1971 nr. 1086 ed al D.M. in vigore sul C.A.O. Norme Tecniche, l'armatura del conglomerato è costituita da tondini in acciaio. Non sono state messe in opera armature ossidate, corrosive, recanti difetti superficiali che ne menomino la resistenza, o ricoperte da

sostanze che possano ridurre l'aderenza al conglomerato. Le caratteristiche delle armature nei riguardi della resistenza sono state controllate mediante prove regolamentari di trazione o di piegamento su provini ricavati dagli spessori prelevati secondo quanto disposto dal D.M. 9.1.1996 e dalle Norme U.N.I. 10002 parte 1^a e U.N.I. ISO 10065. Le barre d'acciaio in tondo, costituenti l'armatura metallica, sono state fabbricate con: acciai normali del tipo Fe B 22K, Fe B 32K e corrispondono a tutte le qualità, prescrizioni e prove di cui alle norme vigenti ed il tipo di diametro adottato è quello indicato nei disegni esecutivi; gli acciai ad aderenza migliorata sono del tipo Fe B 38K - Fe B 44K ed il diametro adottato è quello indicato nei disegni esecutivi. Le giunzioni sono di norma vietate. Sono state consentite solo nei casi in cui le barre necessarie prevedevano una lunghezza maggiore di quella commerciale.

Manufatti tubolari in lamiera ondulata e zincata: la struttura portante è costituita da una lamiera ondulata in acciaio, protetta su entrambe le facce, da zincatura a bagno caldo praticata ad avvenuta formazione e rifinitura dell'elemento. Il tenore dello zinco è maggiore a gr/mq 300 sulla superficie sviluppata di ogni faccia. Le strutture sono esenti da difetti come: soffiature, bolle di fusione, macchie, scalfitture, parti non coperte dalla zincatura, ammaccature. Tutti i pezzi speciali e organi di giunzione sono stati opportunamente zincati.

Muri in acciaio: la struttura portante dei muri è costituita da lamiere opportunamente sagomate in acciaio protette su entrambe le facce, da zincatura a bagno caldo praticata dopo l'avvenuto taglio e piegatura degli elementi. Lo zinco è presente in quantità non inferiore a gr/mq 300 di superficie sviluppata di ciascuna faccia. Le strutture finite sono esenti da difetti come soffiature, bolle di fusione, macchie, scalfitture, parti non coperte dalla

zincatura, ammaccature. Tutti i pezzi speciali e organi di giunzione sono opportunamente zincati. Gli elementi costituenti i muri formano cassoni aventi la lunghezza multipla di mt. 3,05 e la larghezza variabile da mt. 1,68 a mt. 4,36 e l'altezza variabile da mt. 1,22 a mt. 9,35. I montanti sono sagomati a "U" con sezione di dimensioni non inferiori a cm. 16 x cm. 24 e sono inoltre opportunamente forati per l'alloggiamento di bulloni necessari per il loro collegamento con gli elementi longitudinali e trasversali e poggiano su piastra non inferiore a mm. 7 e forma rettangolare avente misure non inferiori a cm. 40 x 55. Gli elementi longitudinali sono sagomati a forma di "S" con una profondità d'onda non inferiore a cm. 20 e con una altezza non inferiore a cm. 40, la lunghezza di detti elementi non è inferiore a cm. 2,72; il loro spessore varia da un minimo di mm. 1,5 ad un massimo di mm. 3,5. Gli elementi trasversali sono sagomati a forma di "S" con una profondità d'onda non inferiore a cm. 15 e con un'altezza non inferiore a cm. 49 ad eccezione dell'elemento inferiore la cui altezza non è superiore a cm. 38, la lunghezza di detti elementi sarà variabile da mt. 1,58 a mt. 4,27 e cioè proporzionalmente alla larghezza del muro. Tutte le giunzioni sono realizzate mediante bulloni a media resistenza, zincati con bagni caldi. Per l'installazione del manufatto è stato predisposto un adeguato appoggio, ricavando nel piano di posa un vano opportunamente profilato secondo la sagoma da ricevere.

Il riempimento del muro metallico è stato eseguito con materiale granulare, permeabile e compatto. Il costipamento del materiale arido è stato fatto a strati di cm. 20, utilizzando pestelli meccanici o pestelli a mano nei punti dove i primi non possono impiegarsi.

Fasi lavorative

I rilievi sono stati condotti con stazione GPS portatile.

Durante i lavori di costruzione dell'opera è stato eseguito preliminarmente lo sbancamento fino ad arrivare al piano di posa del rilevato stradale, poi profilato e sagomato, per poter realizzare la sede del rilevato. I rilevati sono realizzati a strati orizzontali dell'altezza massima di cm. 30, bagnati e rullati. Sopra i rilevati trovano sede le fondazioni con stesa, costipamento, rullatura ed inaffiamento di materiale ghiaioso - sabbioso avente una composizione granulometrica idonea secondo la teoria delle terre stabilizzate. Detto materiale è stato sistemato sul sottofondo mediante stesa in strati successivi dello spessore stabilito dalla Direzione Lavori in relazione alla capacità costipante delle attrezzature di costipamento usate; di norma lo spessore dello strato da stendere e costipare non sarà superiore a cm. 30 in soffice. Sopra la fondazione sono messi in posto gli strati di pavimentazione in conglomerato bituminoso (base, binder, tappetino). Tutti i lavori sono stati eseguiti secondo le migliori regole dell'arte e le prescrizioni della Direzione Lavori, in modo che le opere rispondano perfettamente a tutte le condizioni stabilite dal Capitolato.

L'esecuzione dei lavori è stata coordinata e subordinata alle esigenze e soggezioni di qualsiasi genere esistenti o che potessero sorgere dalla contemporanea esecuzione di altre opere affidate ad altre ditte da parte dell'Amministrazione o di altri Enti (Ferrovie dello Stato, ENEL, TELECOM, ecc.), ad esempio se le opere sono state eseguite in presenza di traffico stradale, con le opportune segnalazioni semaforiche atte alle istituzioni di sensi unici alternati regimentati.

Vediamo in dettaglio le fasi lavorative più importanti:

Sottofondo: per sottofondo si intende il terreno sul quale è poggiata la sovrastruttura e che è più direttamente interessato dall'azione dei carichi esterni trasmessi dalla sovrastruttura stessa. La sovrastruttura è costituita: dalla fondazione, che può essere formata da uno o più strati, l'ultimo dei quali viene denominato strato di base; dalla pavimentazione, costituita dallo strato di collegamento e dal manto di usura. Il sottofondo può essere formato quindi dal terreno di scavo o di riporto; la superficie che delimita superiormente il terreno di sottofondo costituisce il piano di posa della sovrastruttura. Prima della costruzione della sovrastruttura, il terreno di sottofondo è stato preparato, ove per preparazione si deve intendere tutte quelle operazioni che hanno reso la portanza del sottofondo stradale sufficientemente elevata, durevole, uniforme e cioè:

1. costipamento;
2. drenaggio delle acque di qualunque tipo;
3. correzione e sostituzione per una certa profondità del terreno in sito risultante non idoneo.

Al termine delle suddette operazioni il sottofondo deve risultare costipato ad una densità relativa non minore del 95% della densità AASHO Modificata. Per il materiale costituente il corpo del rilevato e disposto inferiormente allo strato di sottofondo, si richiede, invece, che venga costipato in modo da raggiungere un grado di costipamento pari ad almeno il 90% della densità AASHO Modificata.

Scavi - Rilevati - Rinterri: l'asse della strada segue l'andamento plano-altimetrico di progetto senza nessuna variante in corso d'opera.

Scavi in genere: nell'esecuzione di qualsiasi categoria di scavo, sia per l'apertura di sedi stradali e fossi che per l'impianto di opere murarie, gli scavi sono stati eseguiti con sistemi adatti a non provocare il franamento o lo scoscendimento delle materie da scavare. Come ad esempio il caso delle superfici dei tagli che sono state spianate e gli spigoli profilati.

Non tutti i materiali derivanti dagli scavi sono stati impiegati per la formazione di riporti, ma solo quelli ritenuti adatti dalla Direzione Lavori.

Rilevati e rinterri: per la formazione dei rilevati o per qualsiasi opera di rinterro sono state impiegate in buona parte le materie provenienti dagli scavi ritenute idonee dalla Direzione Lavori. I rilevati sono stati eseguiti a strati orizzontali dell'altezza massima di cm. 30 in soffice, estesi a tutta l'ampiezza dei rilevati stessi, rompendo le eventuali zolle di terra ed espurgandola da erbe, canne, radice, ecc. Il suolo sul quale si sono formati i rilevati è stato precedentemente preparato estirpando le piante ed i cespugli, spogliandolo da erbe e radici ed effettuando lo scortico fino ad una profondità di cm. 20. La stesa di "tessuto non tessuto" sul piano d'appoggio del rilevato opportunamente preparato, è stato posto in opera trasversalmente all'andamento stradale e con sovrapposizione di cm 20.

Alcuni rilevati sono stati realizzati sopra terreni a declivio trasversale superiore a 15%, si è quindi proceduto al ritaglio del terreno stesso a gradoni orizzontali con leggera contropendenza per impedire lo scorrimento delle materie di riporto. Nei casi invece dove il rilevato risultava composto di materie ghiaiose, o sabbiose, o sabbiose-limose, le sue scarpate sono state rivestite con uno strato di terra vegetale dello spessore di cm. 75.

In generale possiamo riassumere che per la costruzione del rilevato le fasi lavorative più significative sono state:

- scortico del suolo fino alla profondità di progetto cm. 20;
- il costipamento del terreno di appoggio del rilevato;
- la formazione del rilevato a strati orizzontali dello spessore in soffice non superiore a cm. 30 ed il costipamento meccanico degli strati stessi in modo da raggiungere i gradi di costipamento previsti;
- la regolarizzazione, la profilatura e l'incigliatura delle scarpate e l'inerbimento delle stesse con idonea seminazione;
- lo studio dei cedimenti nel tempo al fine di poter prevedere con attendibilità l'assestamento del rilevato;
- il rivestimento del rilevato o della fondazione stradale con uno strato di terreno vegetale dello spessore di cm. 75 debitamente sistemato, costipato e profilato.

Fondazioni stradali: per formazione di fondazioni stradali si intende la fornitura, la stesa, il costipamento, la rullatura, l'innaffiamento di materiale ghiaioso - sabbioso avente una composizione granulometrica idonea. Detto materiale è sistemato sul sottofondo mediante stesa in strati successivi dello spessore non superiore a cm. 30 in soffice. Il costipamento interessa sempre la totale altezza dello strato in modo da ottenere una densità mai inferiore al 90% della densità massima AASHO Modificata di laboratorio. In generale prima di iniziare ogni tipo di lavorazione bisogna sempre accertarsi che le condizioni di umidità siano tali da non produrre detrimenti alla qualità dello strato stabilizzante e a questo proposito la costruzione è stata sospesa nei periodi in cui la temperatura è scesa al di sotto dei 3°C.

Strati di base in terra stabilizzata con cemento e misti cementati: la miscela è stata stesa sul piano finito dello strato precedente dopo che è stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma e compattezza prescritti. Per il costipamento e la rifinitura sono stati impiegati rulli lisci, statici e vibranti, e rulli gommati, tutti semoventi. In generale la stesa della miscela deve seguire dei range di temperatura e delle condizioni ambientali: non dovrà di norma essere eseguita con temperature ambiente inferiori a 0°C e superiori a 25°C e non sotto pioggia battente. Tuttavia in fase di costruzione si sono riscontrate temperature al di sopra dei 25 °C e con previa autorizzazione della Direzione Lavori è stata consentita la stesa a temperature comprese tra i 25°C ed i 30°C ma provvedendo con abbondante bagnatura del piano di posa del misto cementato. Infine le operazioni di costipamento e di stesa dello strato di protezione con emulsione bituminosa sono state eseguite immediatamente dopo la stesa della miscela. Anche qui le condizioni ideali di lavoro si hanno con temperature di 15°C ÷ 18°C ed umidità relative del 50% circa. In fase di costruzione ci si è imbattuti in temperature superiori che sono comunque risultate ancora accettabili in quanto vi erano umidità relative anch'esse crescenti. Comunque è opportuno, anche per temperature inferiori alla media, che l'umidità relativa dell'ambiente non scenda al di sotto del 15%, in quanto ciò potrebbe provocare una eccessiva evaporazione del getto. Il tempo intercorso tra la stesa di due strisce affiancate non è mai stato superiore a 1÷2 ore e questo per garantire la continuità della struttura. Subito dopo il completamento delle opere di costipamento e di rifinitura è stato realizzato il velo protettivo di emulsione bituminosa al 55%, in ragione di 1÷2 Kg/mq, con successivo spargimento di sabbia. Per la misura della densità in sito, sono stati eseguiti dei prelievi di materiale durante la stesa ovvero prima

dell'indurimento, con l'accorgimento di eliminare dal calcolo sia del peso che del volume, gli elementi di dimensione superiore a mm. 25.

La resistenza a compressione invece è controllata su provini confezionati in maniera del tutto simile a quelli di studio preparati in laboratorio: la miscela è stata prelevata durante la stesa e prima del costipamento definitivo, nella quantità necessaria per il confezionamento di quattro provini, previa vagliatura al crivello da mm. 25. Misurata la resistenza a compressione a 7 giorni dei quattro provini in questione e scartato il valore più basso, la media degli altri tre è servita per confronto con la resistenza preventivamente determinata in laboratorio. Questo controllo è stato effettuato ogni mc. 1500 di materiale costipato.

Pavimenti in conglomerati bituminosi: gli impasti sono stati preparati in un idoneo impianto di mescolamento a caldo munito di idonee tramogge predosatrici atte ad alimentare il cilindro essiccatore con le diverse pezzature di aggregati in modo continuo ed uniforme secondo le varie proporzioni.

L'impianto ha assicurato:

- la perfetta essiccazione degli aggregati ed il loro riscaldamento alla temperatura d'impasto;
- la separazione della polvere dagli aggregati;
- la limitazione dell'immissione di polvere e fumi nell'atmosfera, secondo le leggi ed i regolamenti dell'inquinamento;
- la riclassificazione degli aggregati mediante vagli vibranti o ruotanti;
- il corretto dosaggio a peso delle varie pezzature di aggregati riclassificati;

- lo stoccaggio dell'additivo minerale (filler), la sua uniforme alimentazione ed il suo corretto dosaggio a peso;
- lo stoccaggio del bitume ed il suo riscaldamento alla temperatura di impasto ed il suo corretto dosaggio in proporzione al dosaggio complessivo degli inerti;
- il mescolamento completo ed uniforme degli inerti con il legante;
- controllo della temperatura con un termometro collegato all'uscita del cilindro essiccatore.

L'ubicazione dell'impasto di mescolamento è stato scelto in una zona strategica in relazione alle distanze massime della posa in opera ed il trasporto degli impasti è stato effettuato con autocarri a cassone metallico a perfetta tenuta e, nella stagione o in clima freddi, coperto con idonei sistemi per ridurre al massimo il raffreddamento dell'impasto.

Prima della posa in opera degli impasti si è proceduto ad un'accurata pulizia della superficie da rivestire, mediante energico lavaggio e ventilazione, ed alla stesa sulla superficie stessa di un velo continuo di ancoraggio con emulsione bituminosa. Non appena è avvenuta la "rottura" della emulsione è seguita la stesa dello strato di collegamento.

Analogamente si è proceduto per la posa in opera dello strato di usura, previa spalmatura, sullo strato di collegamento, di una ulteriore mano di ancoraggio identica alla precedente.

L'applicazione dei conglomerati bituminosi è stata effettuata a mezzo di macchine spanditrici-finitrici con caratteristiche di precisione di lavoro tali da avere un controllo umano ridotto al minimo. Il materiale è stato steso a temperatura non inferiore a 120°C, per conglomerato confezionato con bitume 80/100, e non inferiore a 130°C, in caso di impiego di bitumi 60/80.

Le lavorazioni di stesa dei conglomerati è stata sospesa quando le condizioni meteorologiche non sono state tali da garantire la

perfetta riuscita del lavoro ed in particolare quando il piano di posa si è presentato bagnato e la temperatura dello strato di posa del conglomerato era inferiore a 5°C. Quando la temperatura dello strato di posa era compresa fra 5°C e 10°C si sono adottate, previa autorizzazione della Direzione Lavori, degli accorgimenti come ad esempio l'innalzamento della temperatura di confezionamento ed il trasporto con autocarri coperti, che hanno consentito ugualmente di ottenere la compattazione dello strato messo in opera e l'aderenza con quello inferiore.

Nella stesa si è posta grande attenzione alla formazione del giunto longitudinale. In corrispondenza dei giunti di ripresa di lavoro e dei giunti longitudinali tra due strisce adiacenti, si è realizzata la spalmatura con legante bituminoso allo scopo di assicurare impermeabilità ed adesione alle superfici di contatto. La sovrapposizione degli strati è stata eseguita in modo che i giunti longitudinali suddetti risultino sfalsati di almeno cm. 30.

In generale le operazioni di rullatura devono iniziare alla più alta temperatura possibile dell'impasto steso, ovvero il primo rullo dovrà seguire la finitrice il più dappresso possibile, evitando però ogni indebito scorrimento dell'impasto sotto le ruote del rullo. Allo stesso scopo di comprimere l'impasto senza spostarlo, i rulli dovranno essere orientati in modo da rivolgere le ruote motrici verso la finitrice. Inizialmente si è proceduto a costipare il giunto longitudinale con la striscia precedentemente stesa; si è passati quindi a rullare l'altro lato della nuova striscia, procedendo poi gradatamente verso il centro e tornando infine sul giunto longitudinale. Questa operazione è stata ripetuta per ciascun rullo adoperato finché l'impasto non ha mostrato alcun addensamento al passaggio del rullo. Tale operazione è stata monitorata molto attentamente onde evitare una tendenza al dislocamento dell'impasto per temperatura troppo alta o una fessurazione per temperatura troppo bassa.

Nelle curve sopraelevate il costipamento è stato sempre eseguito iniziando sulla parte bassa e terminando su quella alta. Ogni passaggio dal rullo è stato sovrapposto per circa metà larghezza al passaggio precedente e le inversioni di marcia, in prossimità della finitrice, tutte sfalsate fra loro; gli spostamenti trasversali del rullo, da un passaggio all'altro, sono stati effettuati diagonalmente ad una sufficiente distanza dalla finitrice.

Nelle superfici finite dei diversi strati non sono state riscontrate ondulazioni ed avvallamenti e scostamenti dalle quote progettuali e dalla sagoma di progetto superiori a mm. 10, mm. 7 e mm. 5 rispettivamente per gli strati di base, collegamento, usura e solo in qualche punto singolare.

Sulla superficie finita dello strato di collegamento e del manto di usura è stata garantita e verificata la resistenza di attrito radente (antisdrucchiolevolezza).

Macchine ed attrezzature

I mezzi più importanti utilizzati durante l'esecuzione dell'opera sono stati:

- autocarri per il trasporto degli inerti e dei conglomerati bituminosi , circa 30 al giorno (media su gg. 910 di durata totale del cantiere);
- autobotti per il trasporto dei calcestruzzi: circa 6 al giorno per gg. 110 di lavorazioni specifiche;
- autotreni per il trasporto di travi prefabbricate e acciaio da calcestruzzo: circa 1 al giorno per gg. 80 di lavorazioni specifiche;
- escavatori, cingolati e gommati, di varie tonnellate fino ad un massimo di ton. 20;
- apripista e pale cingolate;
- autogru;
- macchine vibro finitrici;
- rulli compressori: il costipamento dell'impasto steso sarà effettuato con rulli metallici a rapida inversione di marcia, possibilmente integrati da un rullo semovente a ruote gommate e/o con rulli misti (metallici e gommati). In ogni caso, il sistema di rullatura prescelto è stato scelto in modo tale da assicurare il prescritto addensamento in tutto lo spessore dello strato, nonché l'adeguata finitura e sagomatura della sua superficie;
- martelli pneumatici per demolizione;
- generatori di corrente;
- macchine taglia asfalto.

Cenni di impatto ambientale

La valutazione dei potenziali impatti ambientali è stata eseguita già nella prima definizione del tracciato. Infatti, considerato che gli impatti più significativi di un tracciato stradale sono riconducibili a:

- rumore
- inquinamento atmosferico
- modifica del paesaggio

il tracciato realizzato è frutto della minimizzazione degli impatti in quanto: ha allontanato il traffico dalle abitazioni prospicienti il vecchio tracciato cambiando quindi l'area su cui si è rilevato l'impatto; ha un andamento, per quanto tecnicamente possibile, concorde con i tratti della centuriazione, quindi omogeneo all'attuale rete viaria.

Descrizione degli impatti per l'atmosfera

L'analisi è stata effettuata tramite la serie storica di dati meteo relativi alla zona oggetto dello studio. La selezione degli scenari si è basata sull'individuazione di periodi a breve termine (short term) comprendente le diverse tipologie di giornate e, in particolare, i periodi particolarmente svantaggiosi (worst case) in cui si manifestano le maggiori concentrazioni in aria di inquinanti a parità di quantità di sorgenti emissive. Questi ultimi casi corrispondono alla valutazione degli scenari in un'ottica di approccio cautelativo. In sintesi le elaborazioni sono state effettuate considerando le emissioni veicolari nelle giornate tipo feriali e nelle ore di punta in cui il traffico veicolare risultava il più intenso. Su tale scenario emissivo è stata effettuata la simulazione del calcolo in una giornata tipo

di calma in pianura considerando delle condizioni di stabilità atmosferica di classe D nell'ottica di un approccio conservativo alla verifica dell'impatto. Nell'ambito di questa giornata è stato effettuato il calcolo delle concentrazioni medie giornaliere e delle concentrazioni di picco orarie.

Al fine di poter effettuare una stima comparativa dell'impatto atmosferico connesso con i diversi scenari emissivi e meteorologici sono stati valutati gli effetti di:

- traffico reale 2003 su rete stradale;
- traffico futuro su rete futura.

Nelle analisi del traffico effettuate non è stato analizzato l'impatto del traffico futuro sulla vecchia rete in quanto già con il traffico misurato nel 2003, nei punti in cui si è effettuato il monitoraggio atmosferico, si sono riscontrati dei superamenti dei limiti di qualità dell'aria.

Dalle simulazioni effettuate risulta evidente che i picchi di inquinamento che si riscontravano in precedenza all'interno dell'abitato di Medicina sono stati eliminati in quanto la massima parte del traffico in direzione nord circola adesso sulla nuova variante ed in particolare il traffico pesante. L'unico punto in cui si ha un piccolo massimo è all'inizio della variante stessa, in cui si ha la massima concentrazione di flussi di traffico, ma i valori ottenuti dalle simulazioni non eccedono i limiti stabiliti dalla normativa.

Descrizione degli impatti da rumore

Per la simulazione del rumore prodotto dal traffico veicolare si è fatto ricorso al modulo di calcolo RLS-90 compreso nel programma di previsione e propagazione acustica Sound Plan 5,0 . Si tratta di un programma di simulazione fornito di tutti gli standard internazionali adottati per il calcolo delle sorgenti di rumore.

Basandosi sul metodo di Ray Tracing, esso è in grado di definire la propagazione del rumore sia su grandi aree, fornendone la mappatura, sia per i singoli punti, fornendo i livelli globali e la loro composizione direzionale. Il programma richiede un'introduzione di dati che si articola in più fasi attraverso la digitalizzazione del territorio (topografia e aree urbane), delle sedi stradali, delle informazioni supplementari di contorno e della caratterizzazione dettagliata delle tipologie di sorgenti acustiche. Sono stati digitalizzati e simulati i seguenti scenari, prestando particolare attenzione a quelle situazioni nelle quali si prevedeva un peggioramento del clima acustico esistente:

- rete stradale reale del 2003 prima della variante con flussi veicolari reali del periodo;
- rete stradale futura con flussi veicolari futuri;
- rete stradale futura con flussi veicolari futuri con eventuali interventi mitigativi.

Le elaborazioni sono state effettuate su archi critici considerando le emissioni acustiche dei flussi veicolari medi diurni e medi notturni di una giornata tipo feriale nelle ore di punta in cui il traffico veicolare risultava più intenso di quella festiva.

Non sono state studiate alcune situazioni quali: rete stradale modificata con flussi veicolari legati alle attività di cantiere e la rete stradale prima della variante con flussi veicolari futuri. Fondamentalmente perché per la costruzione del nuovo asse stradale non è stata modificata la viabilità esistente quindi non vi è stata una variazione dei flussi sulle strade; per quel che riguarda invece il rumore del cantiere è stato ipotizzato, vista la zona scarsamente popolata e la durata dello stesso, che non creasse una fonte di disturbo rilevante. Non è stata neppure analizzata la situazione reale prima della variante con i flussi

di traffico calcolati al 2011, visto che comunque non erano stati previsti incrementi consistenti.

In considerazione della vastità dell'area oggetto della simulazione e della quantità di ricettori presenti all'interno della stessa, non sono stati forniti i risultati della simulazione in formato tabellare individuando alcuni ricettori sensibili e calcolando per questi i livelli di rumorosità a cui sono esposti; bensì i dati della simulazione sono stati forniti sotto forma di mappe acustiche al fine di avere un'informazione ben distribuita a livello spaziale e di immediata comprensione.

Le prime simulazioni eseguite sono state relative allo stato di fatto prima della variante che sono state utilizzate per la taratura del programma confrontandole con le mappe acustiche derivanti dai monitoraggi eseguiti in loco. Successivamente sono state fatte le simulazioni riguardanti il traffico medio giornaliero e notturno nella situazione di traffico futuro sulla rete stradale futura. Confrontando fra loro le mappe inerenti al tempo di riferimento diurno e notturno, relative alla situazione del 2003, è risultato che i flussi veicolari sulla San Carlo, prima della variante, producevano un considerevole impatto acustico ai recettori prospicienti tutto il tratto della medesima tra Poggio Piccolo e Medicina. Inoltre tale tratto di strada, insinuandosi all'interno dell'abitato di Medicina e collegandosi con la San Vitale in prossimità del centro, portava il proprio impatto acustico anche a tali abitazioni. I livelli sonori in facciata alle case più vicine alla San Carlo, prima della variante, raggiungevano e a volte superavano un livello sonoro medio equivalente diurno di 65 dB(A) ed uno notturno di 55 dB(A). I recettori situati sulla variante del tracciato della San Carlo risultano essere sottoposti a un livello di quiete sonora con valori compresi tra i 40 dB(A) nel tempo di riferimento diurno e i 35 dB(A) nel tempo di riferimento notturno.

Le seconde simulazioni hanno analizzato il caso futuro al 2011 con il nuovo tracciato della variante San Carlo ipotizzando che la maggior parte del traffico veicolare che collega Poggio Piccolo alla San Vitale transiti su questo ramo. Risulta evidente come spostandosi il traffico pesante e leggero dal vecchio al nuovo tracciato i ricettori prospicienti al primo ne abbiano tratto giovamento, infatti risultano sottoposti a un livello sonoro medio equivalente intorno ai 55 dB(A) per il tempo di riferimento diurno e 35 dB(A) per il tempo di riferimento notturno.

Vista l'ubicazione del nuovo tracciato, l'abitato centrale di Medicina risulta alleggerito anche del traffico circolante sul tratto di strada che collegava la vecchia San Carlo con la San Vitale ottenendosi quindi un miglioramento del clima acustico.

Il passaggio del nuovo tracciato in quella che era unicamente campagna coltivata porta nell'insieme un lieve peggioramento del clima acustico in un'area praticamente priva di ricettori sensibili. Inoltre solo tre di queste abitazioni ricadono all'interno della fascia di rispetto dei mt. 50 dal tracciato e sono sottoposte a un livello sonoro medio equivalente diurno di poco superiore ai 60 dB(A) e 50 dB(A) per quello notturno, quindi oltre i limiti di legge; le altre si trovano a distanze superiori e hanno un livello sonoro equivalente intorno o inferiore ai 55 dB(A) per il tempo di riferimento diurno e intorno o inferiore ai 45 dB(A) per il tempo di riferimento notturno.

In conclusione la costruzione dell'asse ha comportato un miglioramento diffuso sul clima acustico dell'area dei centri abitati. Al fine di mitigare i livelli acustici simulati per i tre ricettori ubicati più in prossimità del tracciato si sono realizzate alcune barriere acustiche sul bordo stradale di altezza pari a mt. 2,5 in prossimità del cavalcavia sulla San Vitale e sulla strada Provinciale Comastri all'altezza delle case sulla strada comunale Sant'Anna direzione nuova San Carlo.

Descrizione degli impatti per ambiente idrico

I potenziali impatti da considerare sono quelli legati a:

- destinazione delle acque meteoriche (prima e seconda pioggia);
- presenza di acquiferi sotterranei.

Le acque meteoriche sono allontanate dalla zona mediante la rete di fossi scolanti. Ciò permette di avere una protezione indiretta dei corpi idrici ricettori in quanto il fosso stesso funge da primo sedimentatore per la deposizione della eventuale frazione grossolana e la presenza di dispositivi di sezionamento permette di circoscrivere la propagazione di eventuali inquinanti provenienti da sversamenti accidentali.

Gli acquiferi sotterranei individuati sono sostanzialmente due: uno a pelo libero con base a circa mt.10,00 dal piano di campagna, l'altro, semiconfinato, tra mt. 13,00 e mt. 17,00 dal piano di campagna; entrambi sono protetti da terreni argilloso - limosi, di potenza comunque superiore alla profondità di intervento; infatti, la realizzazione del tracciato ha comportato lo scortico di circa cm. 30,00 di terreno quindi non si vanno a creare vie di migrazione preferenziale per gli inquinanti eventualmente derivanti dall'esercizio del tracciato.

Descrizione degli impatti per l'uomo

Sono individuati come impatti significativi per l'uomo i seguenti impatti:

- atmosferico;
- acustico;
- percettivo e sociale.

Gli effetti dell'esposizione ad agenti inquinanti sull'organismo umano possono essere di tipo acuto o cronico. Gli effetti acuti sono in grado di provocare a carico dell'organismo un danno fisico immediato e di evidente entità; essi sono in genere i più analizzati e studiati sotto i profili protezionistico, sanitario e legislativo. Quelli cronici, per la loro natura, sono meno appariscenti rispetto a quelli acuti e pertanto sono spesso sottostimati soprattutto a causa della difficoltà di evidenziarli, monitorarli e classificarli nel tempo come pericolosi per la salute delle popolazioni.

L'individuazione degli indicatori di controllo deve tener conto che sono molteplici i fattori che concorrono a definire se l'esposizione ad un determinato fattore ambientale, ha una rilevanza tale da richiedere interventi di sorveglianza e di controllo: numero di individui che la sperimentano, frequenza e durata, caratteristiche degli individui esposti, ecc. Attualmente esistono indicatori di esposizione (o di dose) e indicatori di effetto (conseguenti all'esposizione) cui fare riferimento. Risulta, però, assai problematico correlare esposizione ed effetto, soprattutto quando le dosi sono molto piccole o quando coesistano numerosi fattori interferenti; inoltre è disponibile solo un esiguo numero di indicatori ambientali di conosciuta affidabilità.

In primo luogo si devono identificare le fonti di rischio per la salute umana connesse all'opera. In questo contesto quindi, si è fatto riferimento a tutte le emissioni nelle fasi di costruzione ed esercizio, già individuate nel corso dello studio d'impatto sulle componenti ambientali precedentemente considerate.

Altri parametri necessari per poter valutare il rischio sanitario sono costituiti dai livelli di concentrazione quali gli Standard Ambientali e le Massime Concentrazioni Accettabili (MAC) applicabili nei luoghi di lavoro, estrapolabili dalla normativa di settore e dalle raccomandazioni delle principali organizzazioni

internazionali (EPA e OMS). E' quindi necessario considerare l'inquinamento acustico e quello atmosferico tra le cause di malessere ambientale più diffuse ed insidiose, particolarmente presente in ambiti territoriali urbani ad elevata densità abitativa ed alto sviluppo economico, in cui le esigenze di mobilità ed il livello di motorizzazione sono particolarmente elevati.

Inquinamento acustico: in passato, pur essendo ben nota la presenza di situazioni di inquinamento acustico negli ambiti cittadini, se ne sono ampiamente trascurati o quantomeno sottovalutati gli effetti rispetto ad altre forme di inquinamento, come ad esempio quello chimico. Infatti, per lungo tempo il rumore ambientale è stato considerato essenzialmente un fenomeno fisico, misurabile strumentalmente, che in determinati casi particolarmente gravi poteva provocare danni all'organo dell'udito. Oggi è noto che questa concezione è falsa, in quanto il rumore provoca reazioni che riguardano l'insieme dell'organismo e della psiche dell'ascoltatore e gli effetti del rumore possono essere oltre che uditivi, anche extrauditivi, nel senso che possono riguardare altri organi o apparati umani o possono interagire con la sfera psicosociale. Tali effetti possono provocare nel caso più grave danni alla salute, nei casi meno acuti ma più frequenti sensazioni di disturbo o di fastidio. Il danno specifico più grave dell'organo dell'udito è rappresentato dalla cosiddetta sordità o ipoacusia neurosensoriale, che generalmente può riscontrarsi a seguito di esposizioni prolungate (diversi anni) a livelli di rumore molto elevati (superiori a 80 dB(A)), tipiche di ambienti lavorativi di tipo industriale. Nell'ambiente urbano i livelli di rumore sono generalmente compresi tra 40 dB(A) e 80 dB(A) e in questo intervallo si riscontra l'insorgenza di effetti extrauditivi, sia di tipo fisiologico, che psicologico e psicosociale. Tra gli effetti

principali di disturbo, o comunque di fastidio, provocati dal rumore i più importanti sono:

- l'interferenza con varie attività umane, come ad esempio la comunicazione parlata;
- il disturbo del sonno e del riposo;
- l'influenza sull'attenzione, sulla capacità di concentrazione e apprendimento, sul rendimento intellettuale e lavorativo;
- il disturbo psicologico.

E' del tutto evidente quindi che la presenza di condizioni di inquinamento acustico può interferire in modo anche rilevante con le attività di lavoro, di studio, di riposo e di relazione e, in definitiva, può contribuire al peggioramento della qualità della vita.

Analizzando i dati della simulazioni effettuate, si evince che per tutti gli ubicati lungo la via San Carlo e negli abitati di Medicina e Poggio Piccolo hanno riscontrato dopo la costruzione della variante un notevole miglioramento del clima acustico a cui sono esposti. Questo è in particolar modo vero per il periodo primaverile ed estivo in cui, a causa della temperatura, si tende a mantenere aperte le finestre; in queste condizioni, il rumore rilevato in facciata dell'edificio esposto è molto simile a quello rilevato all'interno dell'abitazione. Invece per quanto riguardale abitazioni isolate in mezzo alla campagna, data la loro distanza dall'asse risulteranno esposte ad un clima acustico compatibile con le normali attività quotidiane ed il riposo notturno.

La localizzazione degli incidenti mette ben in evidenza come i punti critici siano quelli in cui le Strade Provinciali vanno ad intersecarsi.

Ricordiamo che l'opera presenta le seguenti caratteristiche:

- svincoli regolamentati;
- nessun accesso privato alla strada;
- banchine di larghezza sufficiente all'arresto in caso di emergenza;
- allontanamento della maggior parte del traffico dalle zone densamente abitate.

Le caratteristiche suddette non possono che contribuire alla diminuzione della probabilità di incidente sia lungo il tracciato che nei punti di collegamento dello stesso con la viabilità esistente.

Descrizione delle possibilità di alterazione del valore economico di infrastrutture, manufatti e beni ed attività economiche influenzate delle opere proposte

Gli elementi considerati sono sostanzialmente i terreni coltivati e gli insediamenti civili e industriali (artigianali e servizi). Per quanto riguarda i terreni, la presenza del tracciato non ha influito direttamente sulla produttività degli stessi. Per gli insediamenti civili e industriali invece si sono riscontrati impatti sostanzialmente positivi, in maggiore misura per i secondi.

Descrizione degli impatti per il sistema della mobilità

Trattandosi di un tratto stradale di circa 7 km, risulta ovvio che la realizzazione dell'opera ha impattato notevolmente il sistema della mobilità, a scala locale fino a quella regionale. Infatti, tra le finalità iniziali del progetto una era quella di realizzare la variante in modo di deviare il traffico dall'abitato di Medicina ad un altro tratto stradale. Il tracciato ha inoltre caratteristiche che garantisce una maggiore scorrevolezza del traffico e una maggiore sicurezza di tutta l'opera in virtù della presenza degli svincoli (e non di incroci) alle intersezioni con la viabilità esistente e dell'assenza di accessi non regolamentati quali passi carrai.

Costo dell'opera

Il progetto, dell'importo complessivo di € 18.050.000,00 è così suddiviso fra i vari titoli di spesa:

A) Lavori: € 11.290.000,00 di cui € 290.000,00 per oneri sicurezza non soggetti a ribasso

B) Somme a disposizione dell'Amministrazione:

▪ IVA (sui lavori di cui al punto A)	€ 2.258.000,00
▪ espropriazioni	€ 3.800.000,00
▪ bonifica ordigni bellici	€ 70.000,00
▪ spostamento impianti	€ 330.000,00
▪ imprevisti e lavori in economia	€ 10.879,40
▪ opere a verde	€ 20.000,00
▪ spese tecniche ed incarichi esterni	€ 247.347,00
▪ spese per accertamenti di laboratorio	€ 3.000,00
▪ assicurazione progettista	€ 20.773,60
▪ totale somme a disposizione	€ 6.760.000,00

Totale complessivo del progetto € 18.050.000,00

Il progetto è stato finanziato con fondi regionali per € 17.043.077,67 , assegnati con Delibera di Giunta Regionale nr. 2093 del 25/10/04 e con un cofinanziamento provinciale di € 1.006.922,33 per un totale complessivo di € 18.050.000,00; l'importo a carico della Provincia è stato incrementato, rispetto a quello previsto nel progetto definitivo, per i maggiori oneri

degli espropri dovuti all'aumento dei valori agricoli medi per l'anno 2005.

Per la realizzazione delle opere si è provveduto all'affidamento tramite asta pubblica aperta ad Imprese iscritte alla categoria prevalente OG 3 (D.P.R. nr. 34/00) - VI classifica (fino ad € 10.329.138,00). Nel quadro economico dell'opera sono state previste altresì le Categorie OS 12 - barriere e protezioni stradali, OS 34 - sistemi antirumore per infrastrutture di mobilità ed OS 21 - opere strutturali speciali, scorporabili e subappaltabili ai sensi degli art. 72 comma 4 lett. g) , 73 comma 3 , 74 comma 2 del DPR 554/99. Tra le opere in appalto è stata inoltre prevista la segnaletica stradale. L'appalto è stato aggiudicato, ai sensi dell'art. 21 comma 1 lett. a) della Legge 109/94 nel testo in vigore, mediante ribasso sull'elenco prezzi posto a base di gara, con contratto da stipulare a misura. Agli spostamenti degli impianti hanno provveduto direttamente gli Enti e le Società di gestione, previa approvazione da parte del Settore Viabilità dei relativi preventivi di spesa.

Il tempo utile per la consegna dei lavori è stato stabilito in giorni 1000 (dicansi mille) consecutivi e continui decorrenti dalla consegna.

Per quanto concerne la concessione edilizia, l'art. 7 della L.R. 31/02 specifica che alle opere pubbliche non vanno applicate le disposizioni sui titoli abilitativi e dunque non sono soggette a concessione edilizia o DIA; in ottemperanza ai disposti dell' art. 25 del D.P.R. 554/99 il progetto definitivo, dopo l'approvazione, è stato trasmesso ai Comuni per gli adempimenti di competenza.

Per l'attuazione del progetto è stato necessario occupare in via permanente una notevole quantità di terreni di proprietà privata;

le aree interessate dall'esproprio erano prevalentemente agricole, in parte condotte in affitto ed in parte coltivate dagli stessi proprietari e tutte esterne al centro edificato.

Per l'acquisizione dei terreni occorrenti per i lavori ci si è avvalsi delle Leggi vigenti per l'espropriazione per pubblica utilità e la determinazione dei compensi è stata effettuata, dove possibile, secondo i principi del D.P.R. 327/01 e successive modifiche e della L.R. 37/02 e successive modifiche.

E' stata inoltre attivata e portata a termine la sub-procedura espropriativa definita "procedura per l'occupazione d'urgenza", ai sensi dell'art. 22 bis comma 2 lettera b del D.P.R. 327/01.

La realizzazione della nuova opera non ha aggravato l'Amministrazione con maggiori oneri di gestione dato che il nuovo tratto stradale aumenta la rete provinciale di ml 7.271 (ramo principale), oltre alla lunghezza dei rami di svincolo e delle intersezioni, a fronte di una dismissione di ml 7.300.

ALLEGATO B

IL SOFTWARE VISUM

Per verificare l'impatto del nuovo progetto di variante alla strada SP 19 "San Carlo", è stato usato il software di assegnazione VISUM, che consente di calcolare gli equilibri tra la domanda e l'offerta di trasporto.

VISUM consente la modellizzazione di una rete plurimodale attraverso la rappresentazione del trasporto individuale, del trasporto collettivo e delle merci. La combinazione del modo e dei mezzi di trasporto permette al progettista di definire innumerevoli sistemi di trasporto (auto, mezzi pesanti, autobus, treno, pedoni, ciclisti,...). Nei sistemi di trasporto individuali la modellizzazione è influenzata dalla capacità della rete, mentre i veicoli di trasporto pubblico possono operare anche in accordo agli orari di servizio. VISUM è completamente sviluppato in ambiente Windows e può scambiare dati in altri formati standard per quanto riguarda l'archiviazione, la gestione e la rappresentazione delle diverse banche dati. Ogni aggiornamento della rete può essere effettuato in maniera interattiva direttamente per via grafica e tutte le funzioni del programma sono governate attraverso un unico layout di gestione (in particolare una matrice O/D).

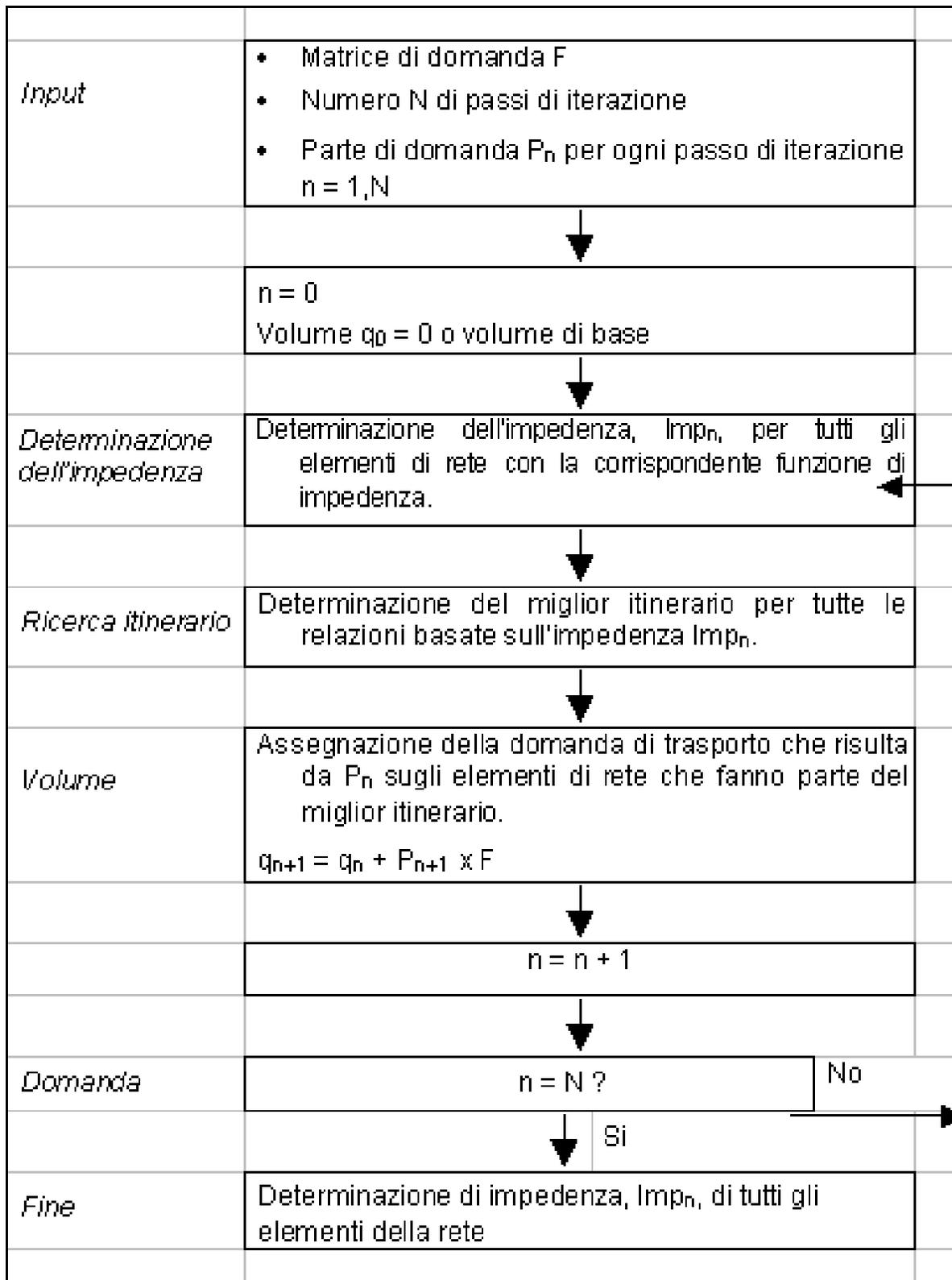
La procedura di ASSEGNAZIONE INCREMENTALE simula il caricamento graduale della rete, assegnando la matrice O/D sulla rete in modo incrementale. Per prima cosa vengono determinati i migliori percorsi, per ogni relazione O/D, sulla rete scarica ed è assegnata una parte della matrice. Sono poi calcolate, mediante le funzioni di costo, le impedenze di rete risultanti dai volumi già assegnati. Il passo successivo dell'assegnazione è basato sui risultati di quello precedente. Ad ogni passo, aumentando il numero di veicoli nella rete, aumenta l'impedenza degli archi, delle manovre di svolta e delle connessioni: nel passo successivo potranno perciò trovarsi nuovi percorsi più brevi per ogni relazione O/D. La procedura continua finché tutta la matrice non risulta assegnata.

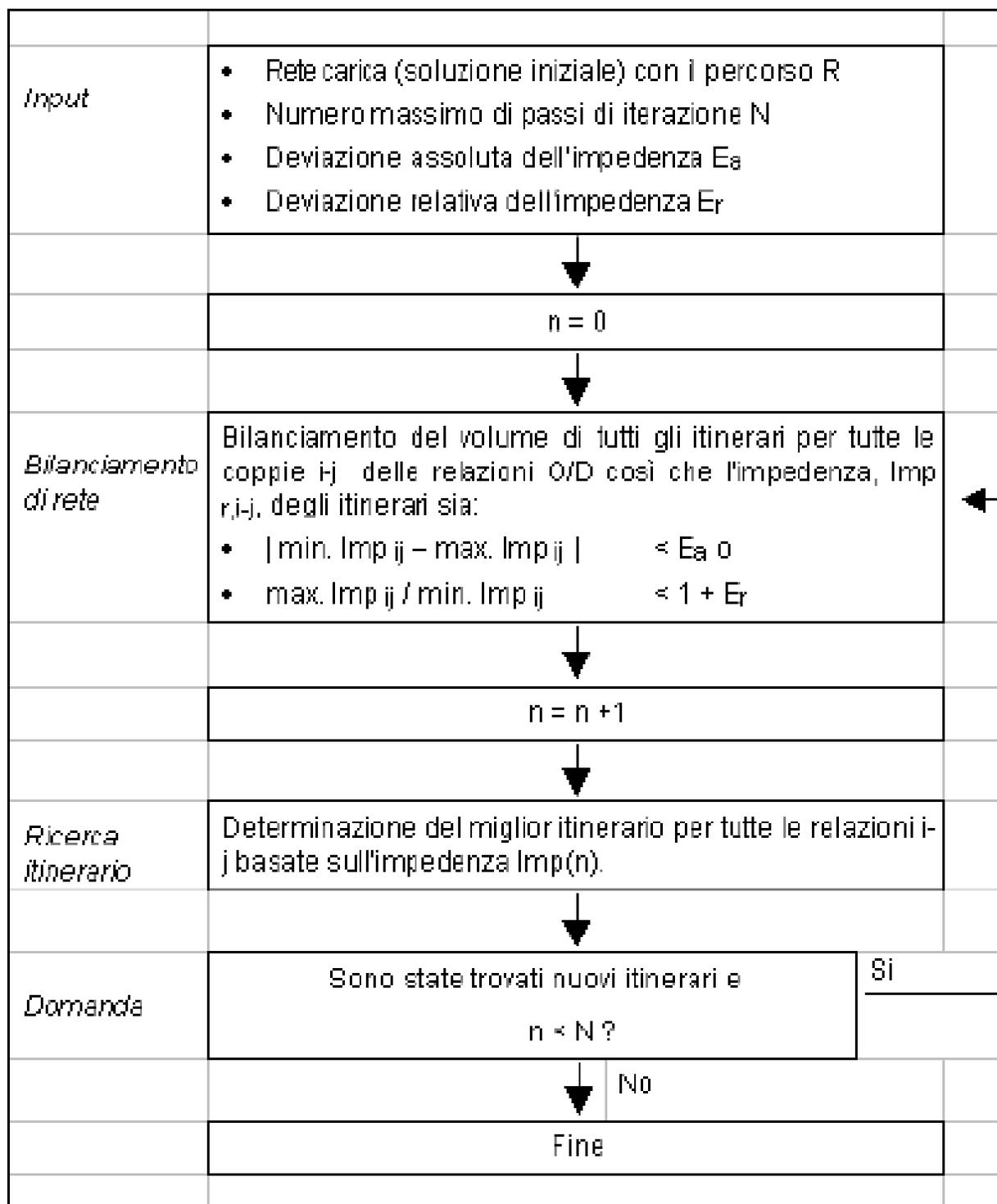
La procedura di ASSEGNAZIONE ALL'EQUILIBRIO. Si tratta di un processo iterativo che mira ad ottenere l'equilibrio sulla rete e segue il principio di ottimo per l'utente (1° Principio di Wardrop): "Ogni singolo utente sceglie il suo itinerario in modo che la durata dello spostamento su tutti gli itinerari alternativi risulti uguale, ed ogni altro itinerario percorso aumenterebbe il tempo di percorrenza individuale (comportamento ottimo per l'utente)". Per tutte le relazioni (dalla zona i alla zona j) tutti gli itinerari alternativi trovati nell'assegnazione avranno lo stesso valore (basato sul tempo di spostamento e/o costo generalizzato) e non esiste nessun itinerario alternativo con minore tempo di spostamento e/o minor costo. Ciò significa che nessun veicolo può cambiare il suo itinerario senza un incremento del suo tempo di spostamento o del relativo costo. Lo stato di equilibrio viene calcolato in una iterazione multi-stadio. L'assegnazione incrementale come specificata nei parametri di assegnazione è utilizzata come soluzione iniziale. In un passo interno parziale si mettono in equilibrio due a due i percorsi di una relazione tramite il trasferimento di veicoli da un percorso all'altro. Questi passi parziali di iterazione vengono eseguiti per tutte le relazioni fino a che esse non siano in equilibrio. Successivamente VISUM controlla se ci sono nuovi percorsi nella rete corrente con minori tempi di spostamento. Se questa verifica risulta positiva anche per una sola relazione, deve essere ricalcolato un nuovo equilibrio della rete. L'equilibrio della rete viene raggiunto quando il trasferimento dei veicoli da un itinerario all'altro non produce ottimizzazioni e quando non viene trovato nessun nuovo itinerario con tempi di spostamento più brevi. La procedura all'equilibrio determina un "ottimo" per l'utente, che è diverso da un "ottimo" di sistema: un ottimo per l'utente significa che risulta la stessa impedenza per tutti gli itinerari di una relazione, mentre un ottimo di sistema significa che il prodotto tra le impedenze dei vari itinerari e il volume

sugli stessi itinerari è minimizzato per tutte le relazioni di traffico. Il tempo di calcolo per la procedura all'equilibrio dipende dallo stato della rete di traffico: se infatti la rete è fortemente congestionata, ad ogni passo di iterazione vengono trovati nuovi itinerari.

La PROCEDURA D' APPRENDIMENTO simula il processo di apprendimento degli utenti della rete basato su un'assegnazione "tutto o niente": gli automobilisti fanno uso delle informazioni ottenute durante i loro precedenti viaggi per la nuova ricerca di itinerario. Diversi percorsi più brevi sono ottenuti in un processo iterativo secondo il quale per la ricerca del itinerario l'impedenza è dedotta dall'impedenza del volume corrente e dall'impedenza stimata precedentemente. Oltre a ciò, molti altri fattori possono influenzare la scelta dell'itinerario. Si può immaginare, per esempio, che gli utenti che conoscono le strade sceglieranno percorsi diversi rispetto a coloro che non conoscono l'area, che si orientano principalmente sulle strade più importanti della rete.

Possiamo riassumere le prime due procedure (quelle appunte utilizzate nella fase progettuale della variante S. Carlo) appena descritte con i seguenti diagrammi:





Tutte le procedure di assegnazione sono basate su un algoritmo per la ricerca degli itinerari ottimi (a seconda del criterio scelto: tempo su rete scarica, su rete carica, costo generalizzato, ...). Ogni itinerario viene calcolato minimizzando una funzione di costo.

Come accennato all'inizio, la tipizzazione degli archi fa riferimento alle caratteristiche funzionali degli archi stessi, che sono riassunte dai seguenti valori:

- capacità;
- velocità a rete scarica;
- parametri *a* e *b*.

I NODI

I nodi rappresentano intersezioni tra gli archi stradali o punti di discontinuità degli stessi. Ogni nodo viene definito dai seguenti attributi di input:

- numero
- nome
- tipo
- lunghezza

I nodi sono classificati, in funzione del tipo di regolamentazione dell'intersezione:

Tipo 0 - nodi che rappresentano discontinuità della rete o nodi direttamente connessi alle zone;

Tipo 5 - nodi regolati con semaforo;

Tipo 6 - nodi regolati a precedenza.

LE MANOVRE DI SVOLTA

In corrispondenza di tutti i nodi sono state analizzate le manovre di svolta, in modo da completarne la rappresentazione funzionale

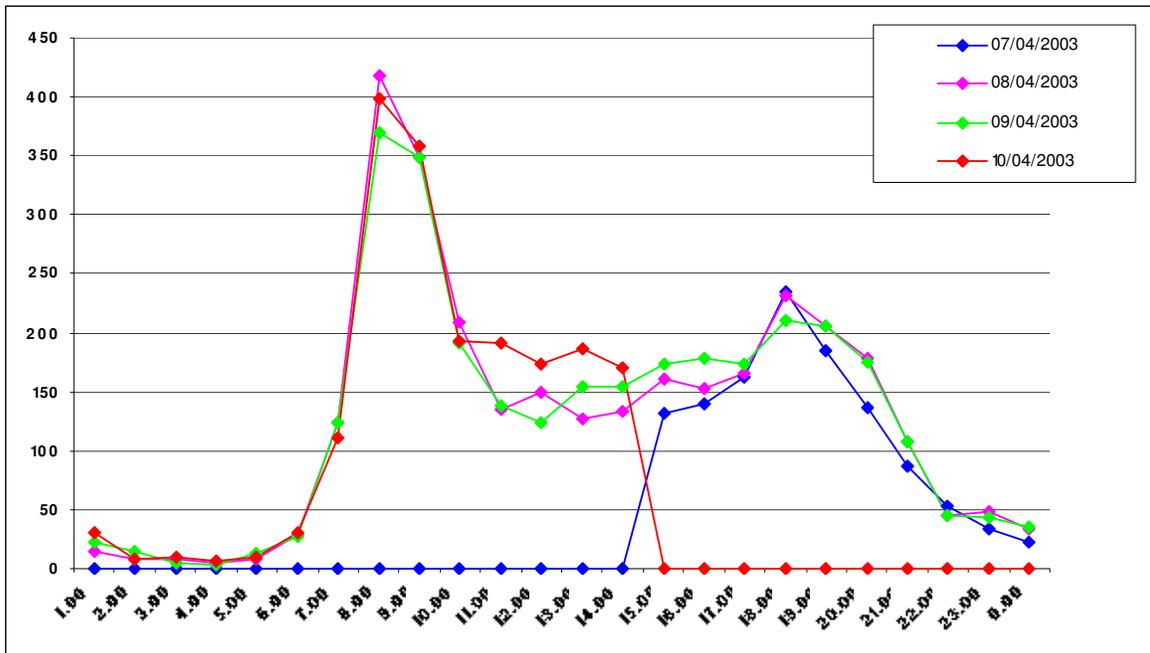
di base. Sono state individuate le manovre di svolta consentite ed è stata assegnata ad ognuna di queste una penalità, in funzione del tipo di svolta (sinistra, dritto, destra) e della gerarchia delle strade che si incrociano.

Riassumendo possiamo schematizzare con la seguente tabella:

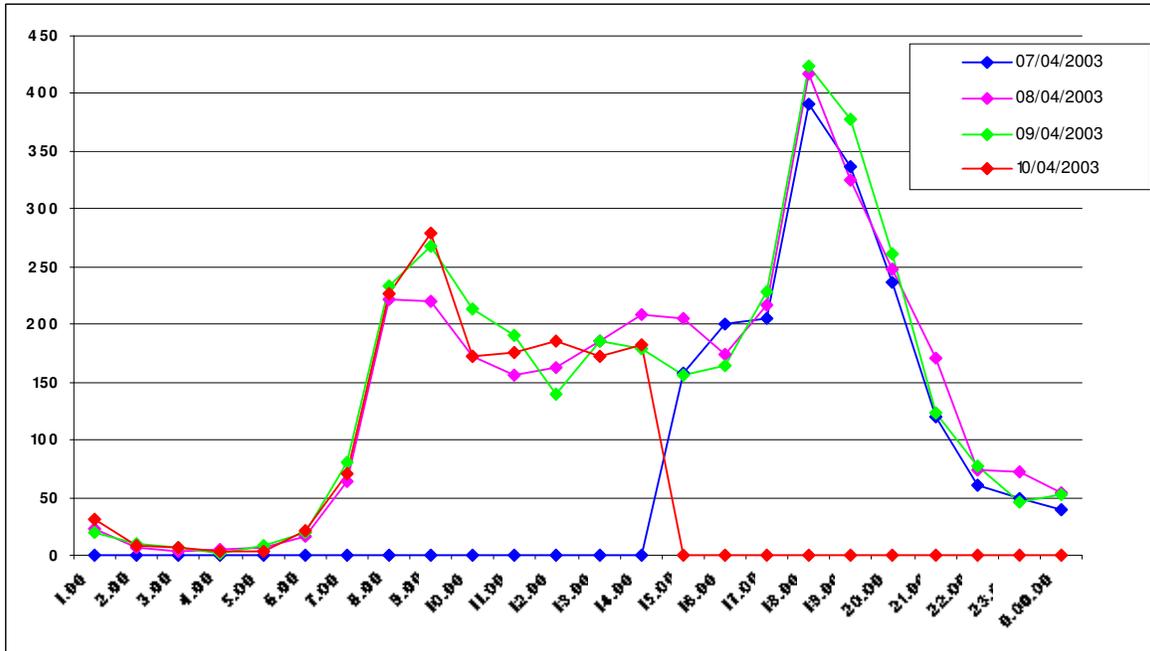
ALLEGATO C

DIAGRAMMI DEI FLUSSI

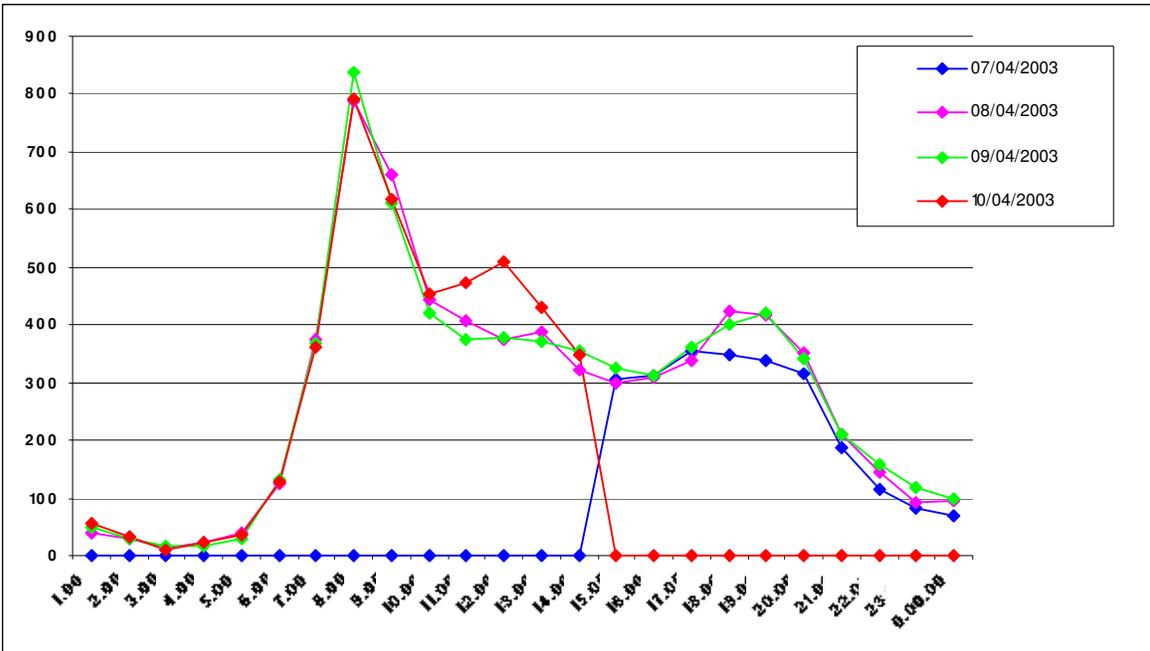
RILEVATI



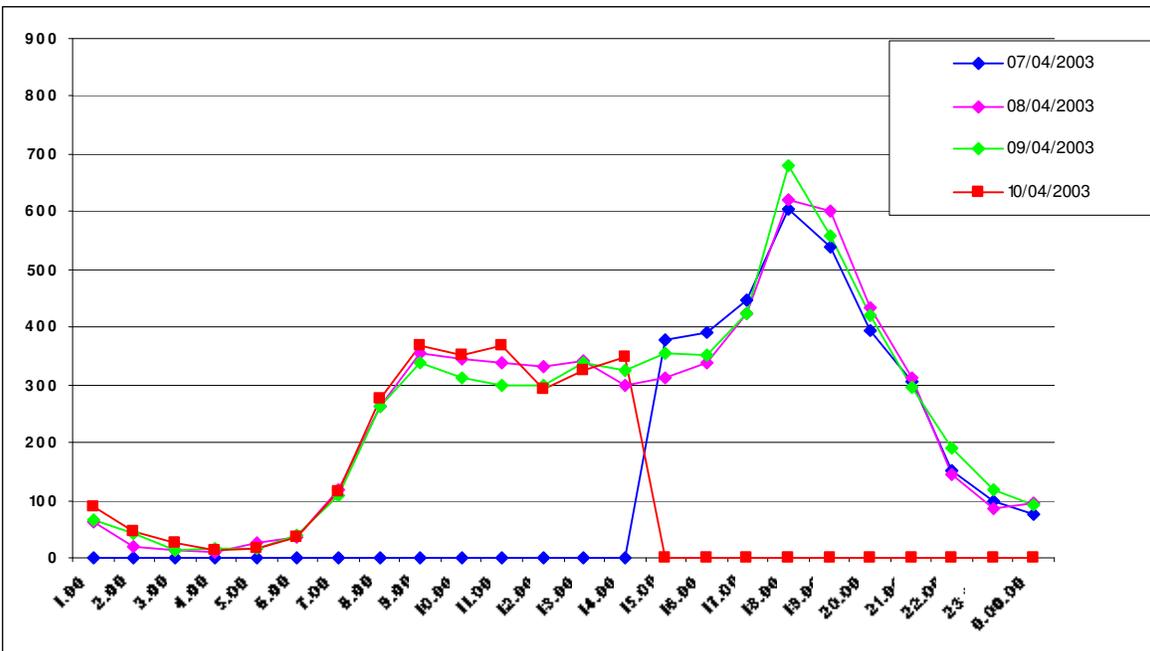
Flussi orari sezione 1 direzione Budrio



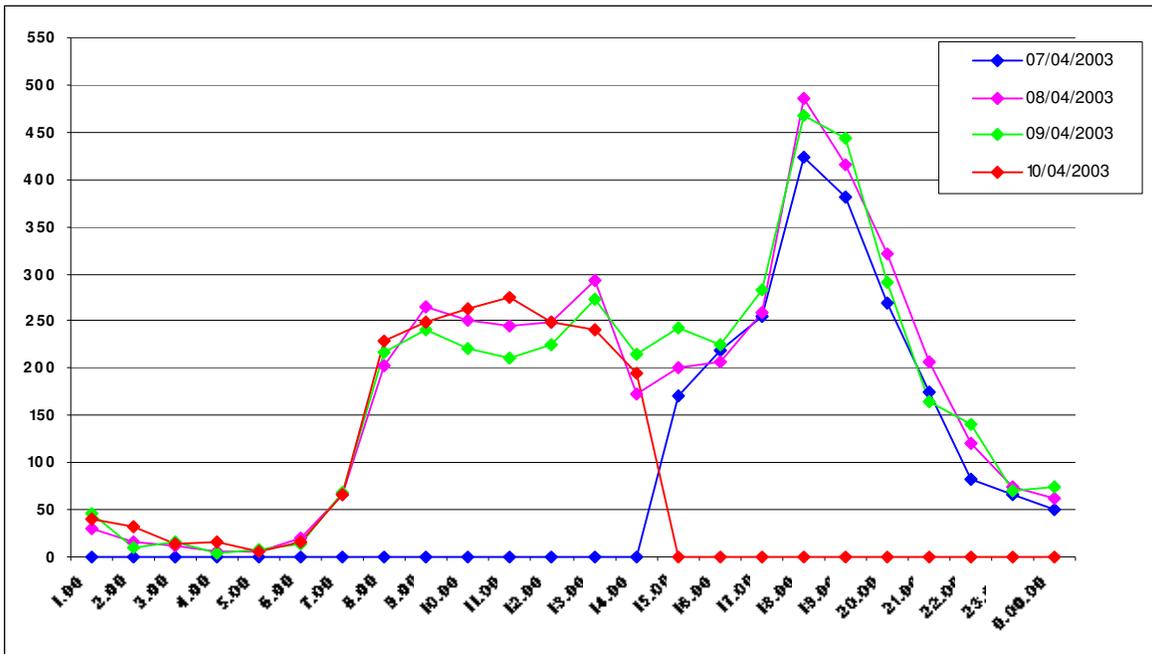
Flussi orari sezione 1 direzione Medicina



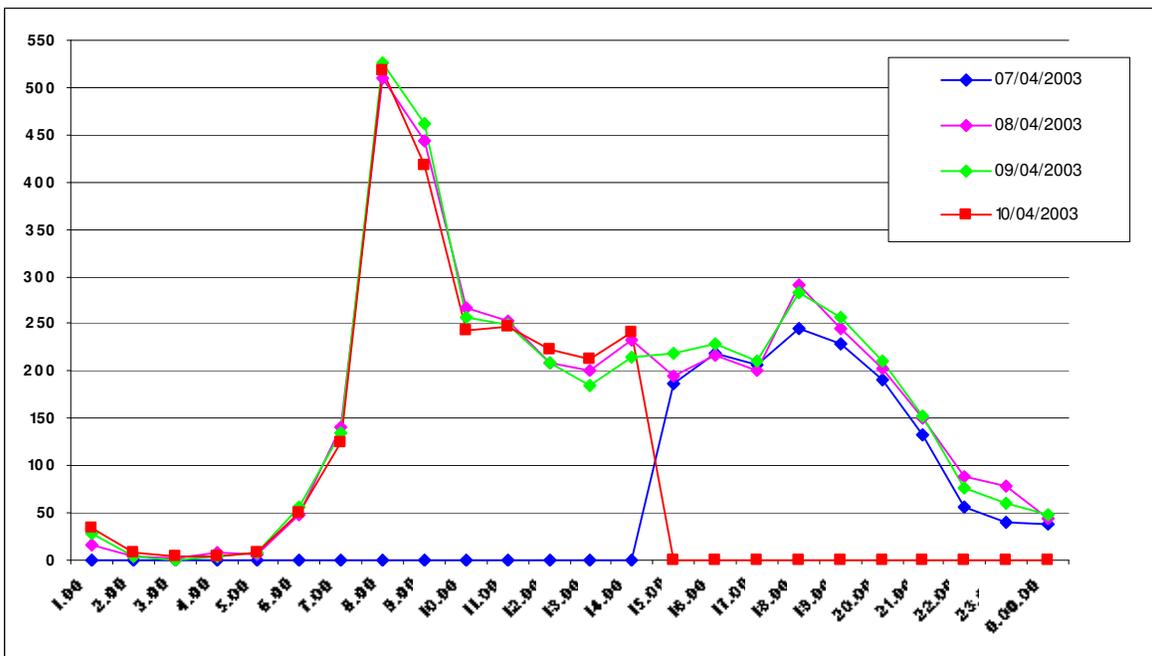
Flussi orari sezione 2 direzione Bologna



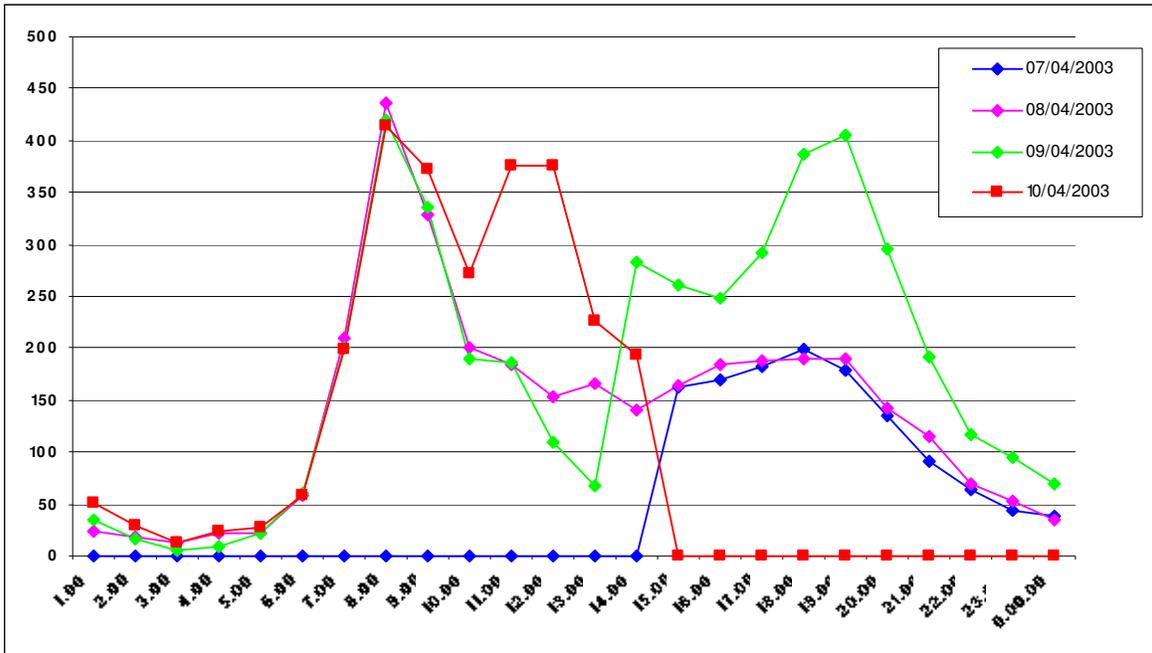
Flussi orari sezione 2 direzione Medicina



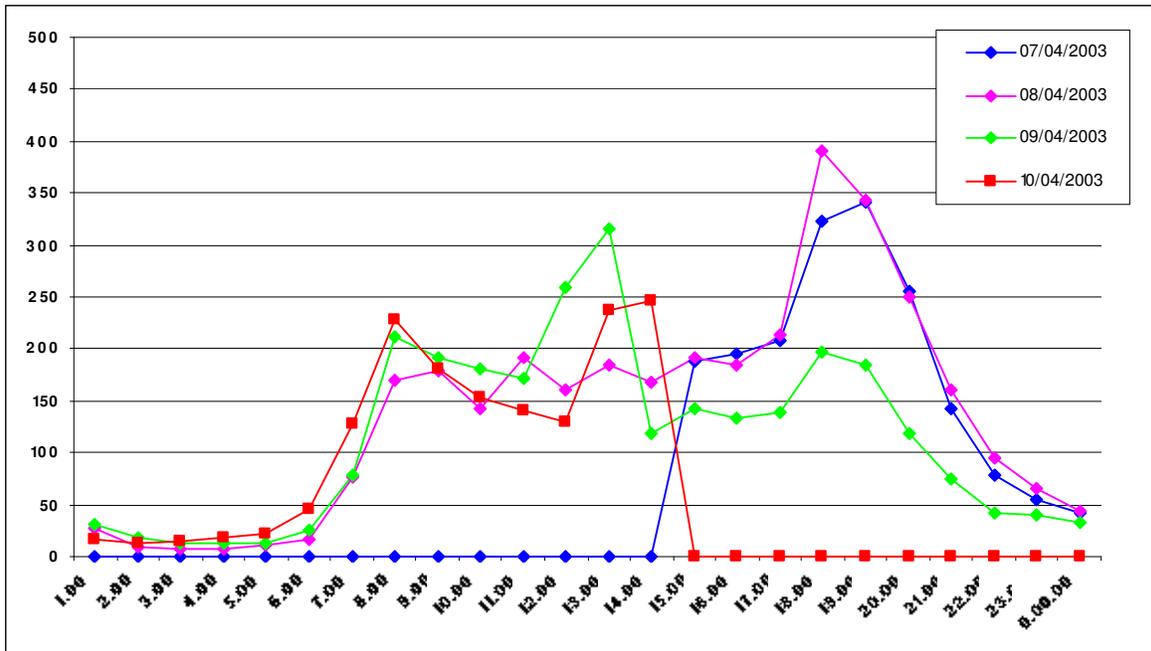
Flussi orari sezione 4 direzione Castel San Pietro Terme



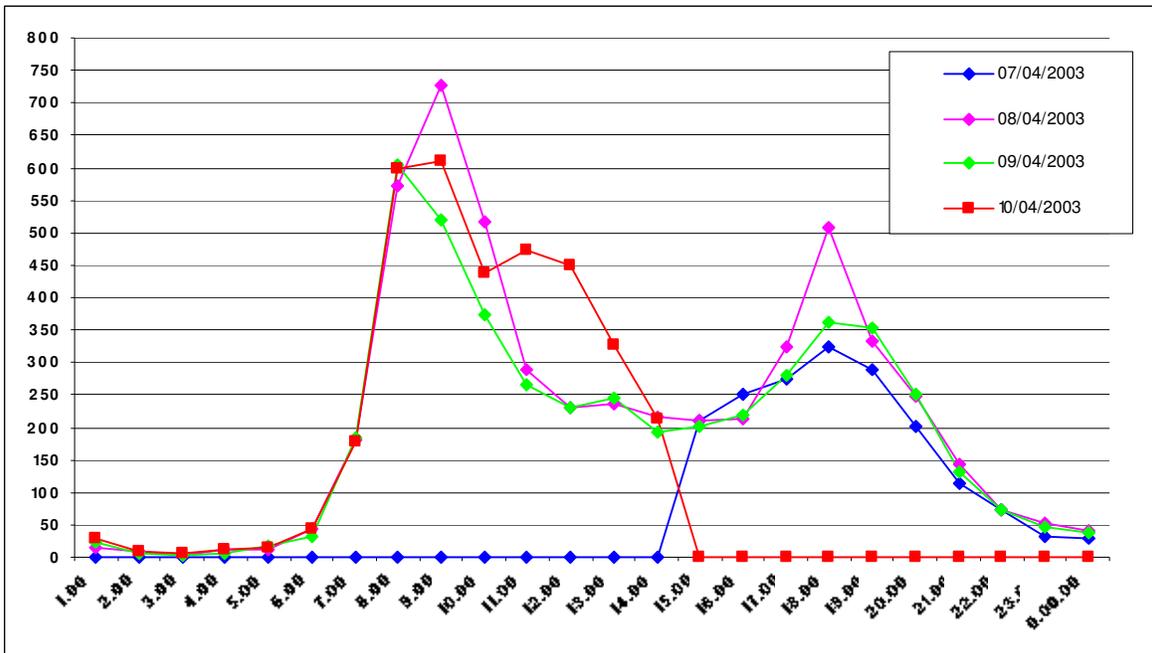
Flussi orari sezione 4 direzione Medicina



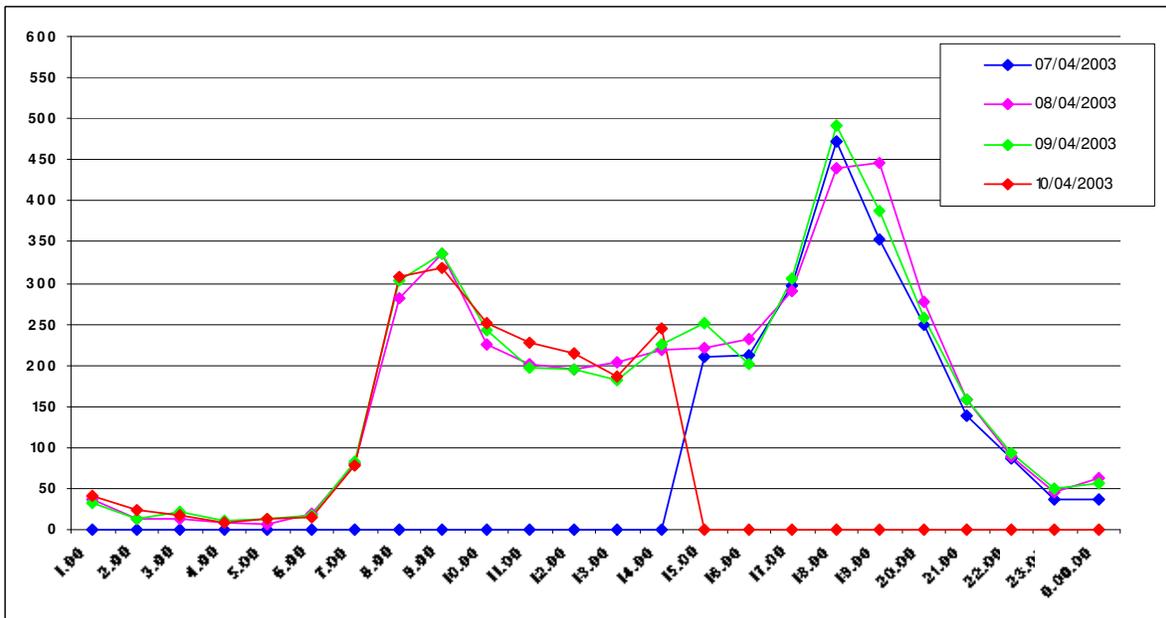
Flussi orari sezione 5 direzione Bologna



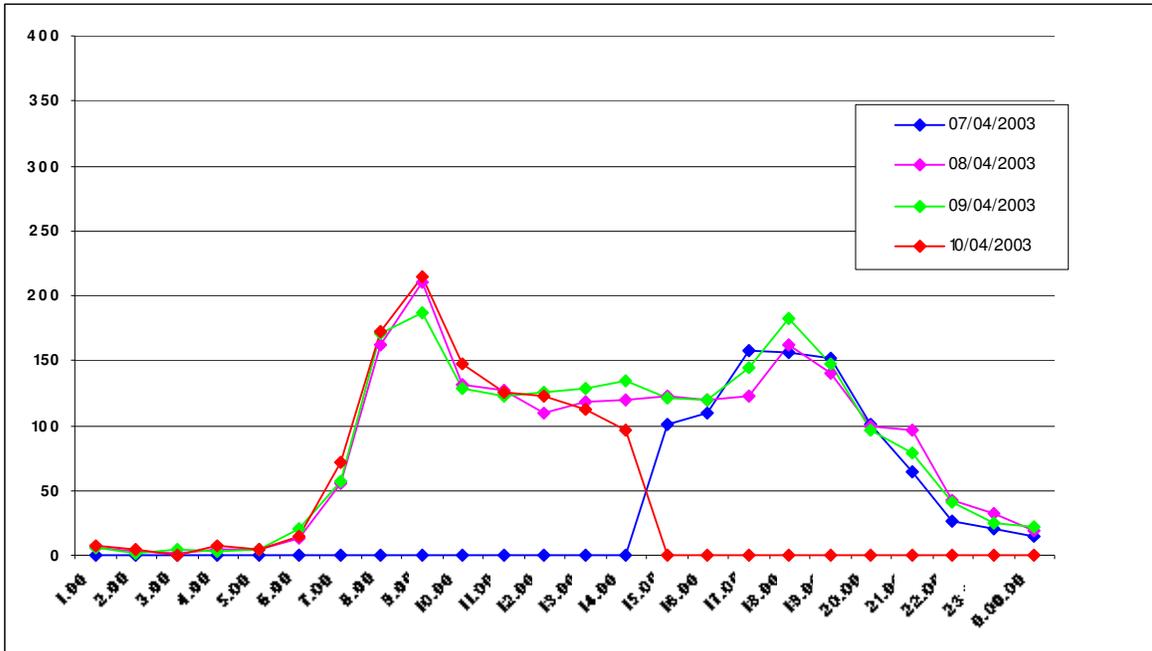
Flussi orari sezione 5 direzione Ravenna



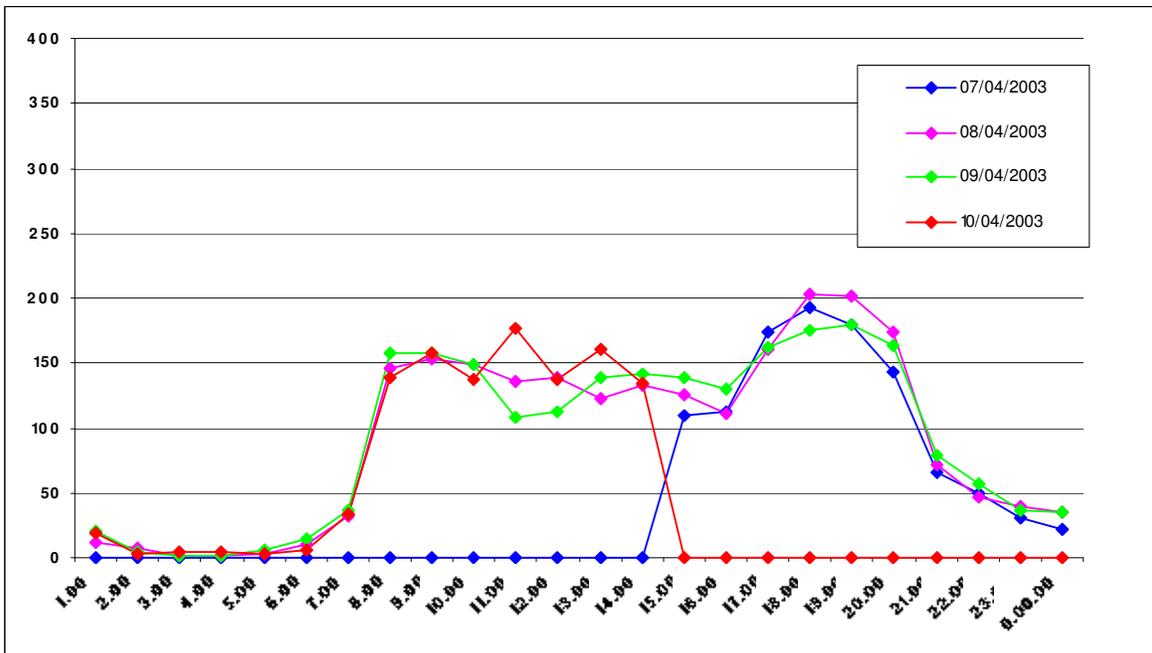
Flussi orari sezione 7 direzione Bologna



Flussi orari sezione 7 direzione Castel Guelfo



Flussi orari sezione 8 direzione Medicina



Flussi orari sezione 8 direzione S. Antonio

Bibliografia

- “Manuale di capacità delle strade (HCM) edizione 2000
- “Introduzione alla tecnica dei trasporti” Cantarella G.E.
UTET
- “Tecnica della Circolazione” Orlandi Praton Editore
- Dispense di lezione “Teoria e Tecnica della circolazione”
- Materiale visionato in Provincia di Bologna