

XXV CONFERENZA ITALIANA DI SCIENZE REGIONALI

LA PROGETTAZIONE PIANIFICATA DELLA RETE STRADALE E GLI STRUMENTI DI MICRO-SIMULAZIONE DEL TRAFFICO

Marco DELLASETTE

Ingegnere del traffico - Libero Professionista - T.T.A. Studio Associato - Torino

Vicedirettore Master "Trasporti e Mobilità Sostenibile" - COREP - Politecnico di Torino

SOMMARIO

Sempre più spesso, le fasi preliminari della progettazione di una infrastruttura stradale (studio di mobilità e di traffico, studio di fattibilità, progettazione preliminare, ecc.) necessitano di un sistema di supporto alle decisioni in grado di analizzare le alternative progettuali non soltanto dal punto di vista territoriale, ambientale ed economico, ma anche in termini di sicurezza, impatto sulla viabilità, gestione dell'infrastruttura, ecc..

In questi casi, l'approccio tradizionale alla pianificazione del traffico, legato all'utilizzo di strumenti di macro-simulazione, non consente di operare al livello di dettaglio richiesto. Tali strumenti, infatti, non sono in grado di fornire utili elementi di valutazione legati alle specifiche scelte progettuali (risoluzione delle intersezioni, svincoli, rotatorie, semaforizzazioni, ecc.), né di valutare l'eventuale impatto dei cantieri sulla viabilità esistente o la correttezza geometrica della proposta progettuale.

La soluzione di tali problematiche può essere individuata in uno strumento di *micro-simulazione dinamica*, che attualmente è possibile implementare anche su reti di traffico estese ed impegnative.

Gli strumenti di micro-simulazione sono in grado di rappresentare in maniera puntuale, precisa ed affidabile il traffico e la sua evoluzione dinamica, prendendo in considerazione gli aspetti geometrici di dettaglio dell'infrastruttura ed il comportamento reale di ogni singolo veicolo, legato all'accoppiamento delle caratteristiche del veicolo stesso e di quelle del conducente.

La memoria proposta intende presentare tale innovativa metodologia di analisi, già frequentemente adottata all'estero in realtà molto importanti quali Manhattan, Miami e la Silicon Valley, attraverso l'esame di alcune applicazioni sviluppate recentemente in Italia, tra cui:

uno studio di area vasta nella Provincia di Alessandria;

lo studio preliminare di impatto sulla viabilità del traforo del Mercantour e della bretella autostradale Albenga-Ceva;

una porzione del Grande Raccordo Anulare di Roma.

Verranno illustrate le metodologie di implementazione del modello, le possibili analisi progettuali di dettaglio disponibili, il grado di affidabilità delle simulazioni e le potenzialità dello strumento in tutte le fasi di studio e di progettazione, tra le quali - non ultima - quella di costruzione del consenso.

1 INTRODUZIONE

La gestione dello sviluppo delle infrastrutture stradali da parte degli Enti competenti si articola di norma in tre fasi: pianificazione, programmazione e progettazione. Tale iter dovrebbe consentire uno sviluppo coerente e consapevole delle infrastrutture a supporto della mobilità, garantendo l'ottimizzazione delle risorse e la massima efficacia di intervento sul territorio.

Mentre la fase di progettazione non presenta di norma particolari incognite, le fasi di pianificazione e di programmazione possono essere sviluppate attraverso approcci metodologici assai differenti, che vanno da quello esclusivamente politico e finanziario, ad uno, a mio avviso ben più efficace, in cui le politiche strategiche vengono supportate ed avvallate da verifiche tecnico-funzionali sulla rete e sulla mobilità complessiva; a questo proposito entrano in gioco gli strumenti di simulazione del traffico.

Troppo spesso, però, una serie di difficoltà di varia natura impediscono la corretta applicazione del processo metodologico sopra descritto che, d'altro canto, risulta fortemente condizionato da fattori esogeni difficilmente controllabili: scale territoriali differenti, competenze distribuite, fattori contingenti locali.

In questo contesto si introduce il fatto che la fase di verifica tecnico-funzionale della rete, così come viene tradizionalmente intesa ed implementata, rimane a livello di valutazione dello schema funzionale della rete, senza scendere ad un livello di dettaglio utile per la successiva fase di progettazione; ciò anche a causa di strumenti di simulazione del traffico e di pianificazione dei trasporti di tipo tradizionale, tipicamente classificati sotto il nome di macro-simulatori.

I limiti di tale processo pianificatorio sono sotto gli occhi di tutti: a qualsiasi scala territoriale, i modelli di traffico forniscono spesso risultati deludenti a fronte di sforzi titanici per reperire i dati ed elaborarli in maniera sufficientemente attendibile. Un esempio per tutti è l'ambito urbano, dove l'applicazione dei suddetti strumenti ai Piani Urbani del Traffico ha dato adito in molti casi a pure esercitazioni teoriche scarsamente attuabili, avulse dal contesto urbano in esame e scarsamente legate alle fasi di progettazione degli interventi.

Anche su scala territoriale più ampia (provinciale e regionale) l'utilizzo dei modelli di macro-simulazione può portare, a volte, a risultati poco interessanti, soprattutto se applicati per la valutazione di soluzioni progettuali alternative.

Per tali ragioni la Pubblica Amministrazione rischia di disaffezionarsi a questi strumenti e di abbandonare la sana abitudine di ricorrere in modo serio agli strumenti di simulazione per la pianificazione.

Di fronte a questo pericolo è necessario affrontare la questione in un'ottica più innovativa, analizzando i contesti in cui si opera e scegliendo, a seconda delle problematiche, le metodologie di analisi più opportune, sulla base di una approfondita conoscenza dei rispettivi limiti di applicabilità delle metodologie di simulazione.

La ricerca e la sperimentazione di nuove metodologie di analisi diventa, pertanto, un fattore determinante per individuare soluzioni sempre più efficaci e rispondenti agli obiettivi specificati.

Senza negare la validità degli strumenti di simulazione di tipo più tradizionale, che tutt'ora vengono ancora utilizzati con risultati a volte lusinghieri, l'utilizzo di strumenti più sofisticati e dettagliati come quelli qui proposti consente di ribaltarne l'ottica di applicazione, passando da una visione finalizzata esclusivamente alla fase di pianificazione, a quella, assai più interessante, di strumento per la progettazione pianificata, che può essere utilizzato, cioè, sia nelle prime fasi di valutazione dell'opera, che in quelle successive di verifica di dettaglio, di analisi costi/benefici, di verifica del progetto (geometria, intersezioni, raccordi, rampe,

rotatorie, semafori, ecc.), di fasi di attuazione (eventuali viabilità temporanee di cantiere), di verifica di raccordo con la viabilità esistente, ecc..

2 APPROCCIO TRADIZIONALE ALLA PIANIFICAZIONE DEL TRAFFICO: LA MACRO-SIMULAZIONE

L'approccio tradizionale alle analisi ed alle valutazioni inerenti la mobilità e le relative infrastrutture stradali avveniva (ed in molti caso avviene ancora oggi) utilizzando strumenti di macro-simulazione, composti da una serie di modelli in grado di effettuare stime e valutazioni relative alla domanda, all'offerta ed alla loro interazione.

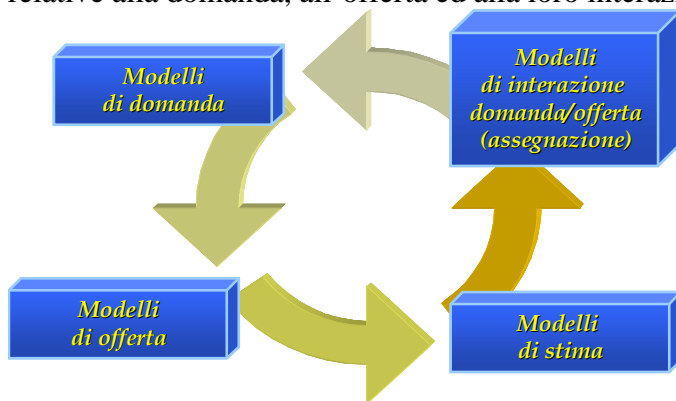


Figura 1 - Componenti dei modelli di simulazione

Tali strumenti si basano su una descrizione sintetica della matrice O/D degli spostamenti effettuati nel periodo di riferimento della simulazione, e delle caratteristiche geometrico-funzionali delle infrastrutture stradali attraverso una rappresentazione semplificata costituita da archi e nodi.

Il modello prende in considerazione esclusivamente valutazioni di tipo medio relative al deflusso (curve di deflusso, costi medi chilometrici ed orari, ecc.).

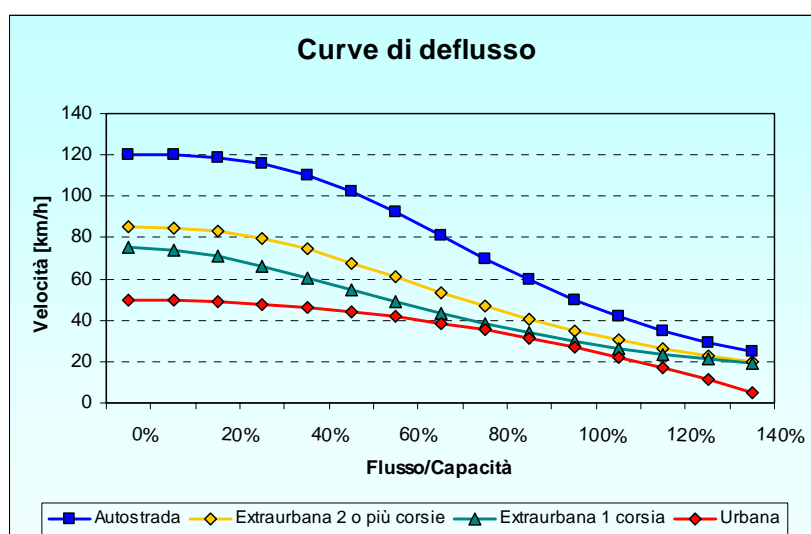


Figura 2 – Esempio di descrizione delle curve di deflusso stradali

Le analisi si basano pertanto su valutazioni e simulazioni statistiche medie dei volumi di traffico orari e dei tempi medi di percorrenza previsti sugli archi, a partire dalle caratteristiche

geometriche e funzionali delle strade ed eventualmente dai volumi di traffico esistenti; di norma sono supportate da modelli comportamentali di tipo deterministico o stocastico che consentono di individuare la ripartizione percentuale dei flussi sulle differenti alternative di percorso, basandosi sul prevedibile comportamento di scelta degli utenti, opportunamente suddivisi in classi. La ripartizione del traffico sulle tratte comporta una variazione dei tempi di percorrenza degli archi e dei costi generalizzati, sulla base dei quali si fonda il criterio di scelta del percorso stesso; un processo iterativo consente di individuare la situazione di equilibrio tra i flussi di traffico ed i costi generalizzati.

2.1 Risultati e limiti degli strumenti di macro-simulazione

Il processo di simulazione sopra individuato, condotto distintamente per i veicoli leggeri e per quelli pesanti, nelle ore di punta ed in quelle di morbida, porta ad individuare una serie di indicazioni di carattere medio e statistico quali i flussi di traffico orario e giornaliero previsti sulle tratte, le velocità medie, le densità, i livelli di servizio, gli indici di saturazione, ecc..

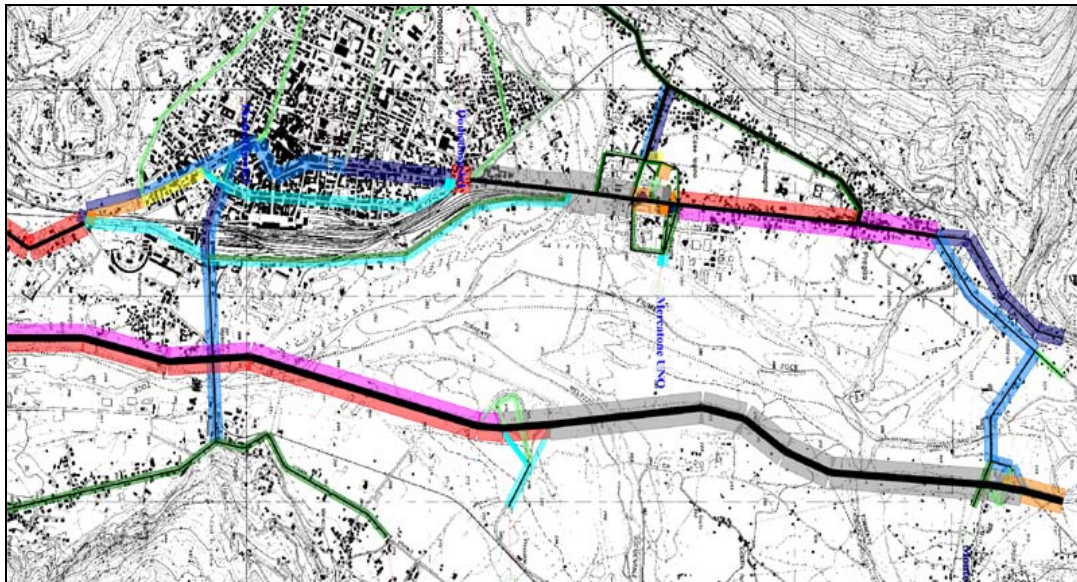


Figura 3 - Flussi medi assegnati sulle tratte del grafo

L'approccio tradizionale alla pianificazione utilizza, pertanto, una serie di strumenti e di metodologie definite "semplici"; infatti, i dati utilizzati ai fini delle simulazioni rappresentano una realtà "media": i flussi di traffico, le densità, le velocità dei veicoli e le distribuzioni degli arrivi, sono rapportati ad un periodo di riferimento temporale "medio", solitamente di un'ora. Questa approssimazione nella definizione dei dati di input e dei conseguenti risultati porta ad una visione dell'intero processo di simulazione che viene definita "statica", in quanto non vengono presi in considerazione variabili che caratterizzano l'effettivo comportamento dei veicoli e della loro distribuzione sulla rete. I veicoli, infatti, non vengono simulati in maniera distinta, ma sono considerati esclusivamente in termini di flusso medio. Ciò equivale a considerarli come una flotta uniforme che procede alla medesima velocità (moto uniforme) e con il medesimo distanziamento (Figura 4).

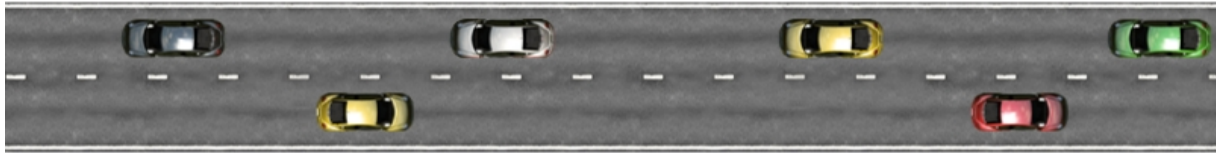


Figura 4 - Visione “statica” del fenomeno

Risulta evidente, pertanto, che tale approccio consente esclusivamente di ricavare valutazioni statistiche relative alle prestazioni della rete nel suo complesso. Inoltre, la schematizzazione semplificata della rete viaria considerata (grafo) e delle intersezioni (nodi) preclude un’analisi di dettaglio sulle criticità puntuali della rete (intersezioni, accessi, cambi di sezione stradale, punti singolari, raccordi, ecc.) e, di conseguenza, sulla valutazione di progetti di carattere puntuale (intersezioni, rotatorie, semafori, ecc.).

A ciò si può aggiungere che le metodologie di analisi basate sulla macro-simulazione di norma non portano a soluzioni efficacemente impiegabili nella fase di gestione della mobilità e delle infrastrutture di trasporto quali, ad esempio, la gestione dei cantieri e dei percorsi alternativi e non fornisce indicazioni utili per la soluzione progettuale più idonea.

3 MODELLI DI MICRO-SIMULAZIONE DINAMICA SU RETE

La differenza più evidente tra un macro e un micro-simulatore consiste nel fatto che mentre il macro-simulatore prende in esame ed elabora parametri e grandezze di tipo medio, sulla base di leggi fisiche e di comportamento statistiche, il micro-simulatore analizza ed elabora istante per istante il movimento di ogni singolo veicolo presente sulla rete, sulla base di leggi legate al moto del veicolo ed al comportamento del conducente (accelerazione-decelerazione, teoria dell’inseguitore, teoria di cambio corsia, ecc.)

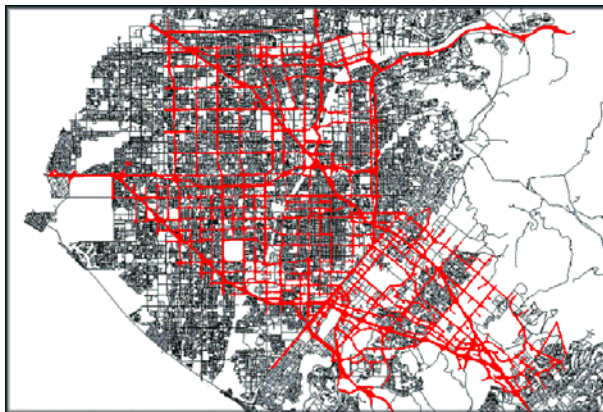
Gli strumenti di micro-simulazione dinamica su rete sono in grado di rappresentare in maniera puntuale, precisa e specifica il traffico e la sua evoluzione istantanea, prendendo in considerazione gli aspetti geometrici di dettaglio dell’infrastruttura ed il comportamento reale dei veicoli, legato all’accoppiamento delle caratteristiche del veicolo e del conducente.

La sostanziale diversità di approccio tra i due metodi di simulazione si evidenzia in modo ancora più netto se si analizza nel dettaglio il differente approccio teorico legato alla rappresentazione delle caratteristiche di deflusso: infatti i macro-simulatori determinano la velocità media del flusso veicolare sulla base di una *curva di deflusso* (Figura 2) che deve essere definita e codificata nel modello sulla base di leggi teoriche o di osservazioni sul campo. Tale approccio deriva da un’ipotesi estremamente semplificata che descrive le leggi di deflusso del traffico in maniera analoga alle leggi del moto dei fluidi (un fluido si muove con una velocità media inversamente proporzionale alla sua densità). Eventuali ritardi ai nodi vengono tutt’al più conteggiati separatamente e non concorrono alla formazione di code o di impedimenti alla circolazione.

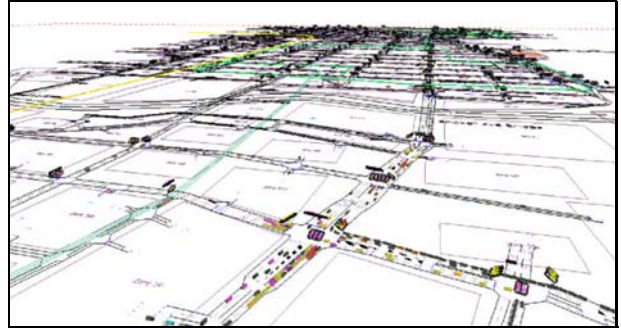
Nei micro-simulatori il limite legato a tale notevole semplificazione viene superato: non è più necessario individuare e calibrare le curve di deflusso delle strade, e neppure indicare la lunghezza degli archi stradali; ciascun veicolo assume il comportamento più consono sulla base delle sue caratteristiche, dello stile di guida del conducente, della geometria della strada e dei condizionamenti legati ai veicoli che lo circondano.

Molti sono i progetti già realizzati, soprattutto negli Stati Uniti, in Canada ed in Gran Bretagna (Figura 5), che dimostrano come da un lato sia possibile implementare uno strumento di micro-simulazione su reti estese, dall’altro tali attività siano spesso occasione per attivare successivi programmi di gestione del traffico e delle infrastrutture.

Nel caso in esame è stato utilizzato il software *Quadstone Paramics V4*, uno tra i più evoluti strumenti di micro-simulazione attualmente disponibili.



Anaheim (Disneyland), California



Il Transportation Master Plan di Miami, Florida



Manhattan, New York City



Edinburgh, Gran Bretagna

Figura 5 - Esempi di applicazioni nel mondo

3.1 Principi teorici della micro-simulazione

I micro-simulatori dinamici basano il loro funzionamento su modelli in grado di rappresentare singolarmente il movimento di ciascun veicolo sulla base del comportamento del conducente, che segue le regole dettate dalla *teoria dell'inseguitore* (Car-Following), da quelle del *cambio corsia* (Lane-Changing) e da quelle *dell'intervallo minimo di accesso* (Gap-Acceptance). In sostanza, i conducenti tendono a viaggiare con la velocità desiderata in ciascuna sezione, ma l'ambiente circostante (es. i veicoli precedenti, i veicoli adiacenti, la geometria della strada, i segnali stradali ed i semafori, gli ostacoli, ecc.) condiziona il loro comportamento.

Il tempo di simulazione è diviso in piccoli tempi di intervallo chiamati cicli di simulazione oppure *intervalli di simulazione* (Δt). Ad ogni intervallo di simulazione (di norma pari a 0.5 sec), la posizione e la velocità di ciascun veicolo nel sistema viene aggiornata in accordo con le leggi sopra indicate e di cui si fornisce una breve descrizione nel seguito.

La micro-simulazione fornisce una visione *dinamica del fenomeno* in quanto, come sopra accennato, vengono prese in considerazione le caratteristiche istantanee del moto dei singoli veicoli (flusso, densità, velocità, ecc.). Attraverso la micro-simulazione è possibile rappresentare più famiglie di spostamenti (Figura 4), ognuna caratterizzata da differenti parametri comportamentali (accelerazione, decelerazione, aggressività, tempo di reazione, ecc.) e da diverse tipologie di veicolo (velocità massima, dimensioni, prestazioni, parametri di emissione, ecc.). Conducenti "molto abili", hanno tempi di reazione più brevi; essi possono guidare più vicino ai veicoli precedenti, possono trovare più facilmente intervalli di

inserimento, possono accelerare repentinamente e, quindi, hanno molte opportunità di muoversi rapidamente nella rete stradale.

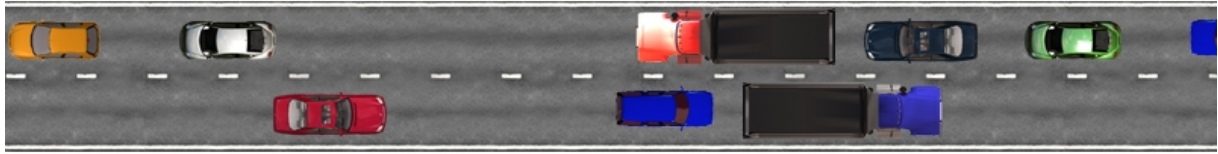


Figura 6 - Visione dinamica dei flussi e varie tipologie di veicoli

Si riporta nel seguito una breve esplicitazione degli algoritmi di base.

Car-Following - teoria dell'inseguitore

Ciascun conducente tende a raggiungere una velocità prescelta sulla base del suo stile di guida, delle prestazioni del veicolo e delle caratteristiche geometriche della strada che sta percorrendo; se durante la marcia raggiunge un veicolo che lo precede, dovrà rallentare ed adeguare la sua velocità o, se ciò è possibile, cambiare corsia.

Tre parametri sono utilizzati per calcolare la massima velocità desiderata di un veicolo mentre guida in una particolare sezione stradale:

- la massima velocità desiderata del veicolo;
- la massima velocità accettata dal veicolo;
- la velocità limite della sezione o della manovra di svolta.

Lane-Changing - modello di cambio corsia

Ciascun conducente stabilisce, istante per istante, l'opportunità o meno della manovra di cambio di corsia sulla base della necessità, della desiderabilità e dell'attuabilità della manovra.

Gap-Acceptance - intervallo minimo di accesso

Ciascun conducente stabilisce quando eseguire una manovra (cambiare corsia, attraversare un'intersezione, inserirsi in un flusso di traffico, entrare in una rotatoria, ecc.) valutando se esiste l'intervallo temporale minimo necessario per la manovra, sulla base delle velocità relative degli altri veicoli.

3.2 *Applicazione del modello e risultati*

Risulta evidente che l'utilizzo di un micro-simulatore richiede uno sforzo maggiore per la rappresentazione puntuale e precisa della geometria della rete e della distribuzione temporale della domanda.

Pertanto, il modello descrive, per sua natura, in modo assai più realistico il comportamento dei veicoli e fornisce una descrizione decisamente più attendibile della realtà, anche a fronte di stime di carattere statistico dei parametri di domanda.

L'offerta deve essere descritta in termini di geometria plano-altimetrica delle strade e delle intersezioni, le intersezioni vengono direttamente trasformate dall'interfaccia grafica in aree di manovra: in esse è sufficiente indicare quali sono, per ciascuna corsia, le manovre di svolta consentite.

Ulteriori rappresentazioni geometriche (raggi di curvatura, raccordi, ecc.) sono possibili manualmente, al fine di migliorare la qualità della simulazione, di norma già comunque ottima anche in condizioni "standard".



Figura 7- Rappresentazione completa della rete e dei veicoli in movimento



Figura 8 - Dettaglio su intersezioni, semafori e rotatorie

I risultati che fornisce il micro-simulatore sono vari e articolati, comprendono tutti quei parametri solitamente forniti dai macro-simulatori (velocità, flussi, livelli di servizio, indici di criticità, ecc.), espressi anche in termini puntuali ed istantanei (Figura 7 e Figura 8), ed una serie di informazioni integrative sui singoli veicoli, sui percorsi, sui mezzi di trasporto pubblico, sui flussi veicolari, sulle code e sulle criticità (Figura 8), sui parcheggi e sugli incidenti.

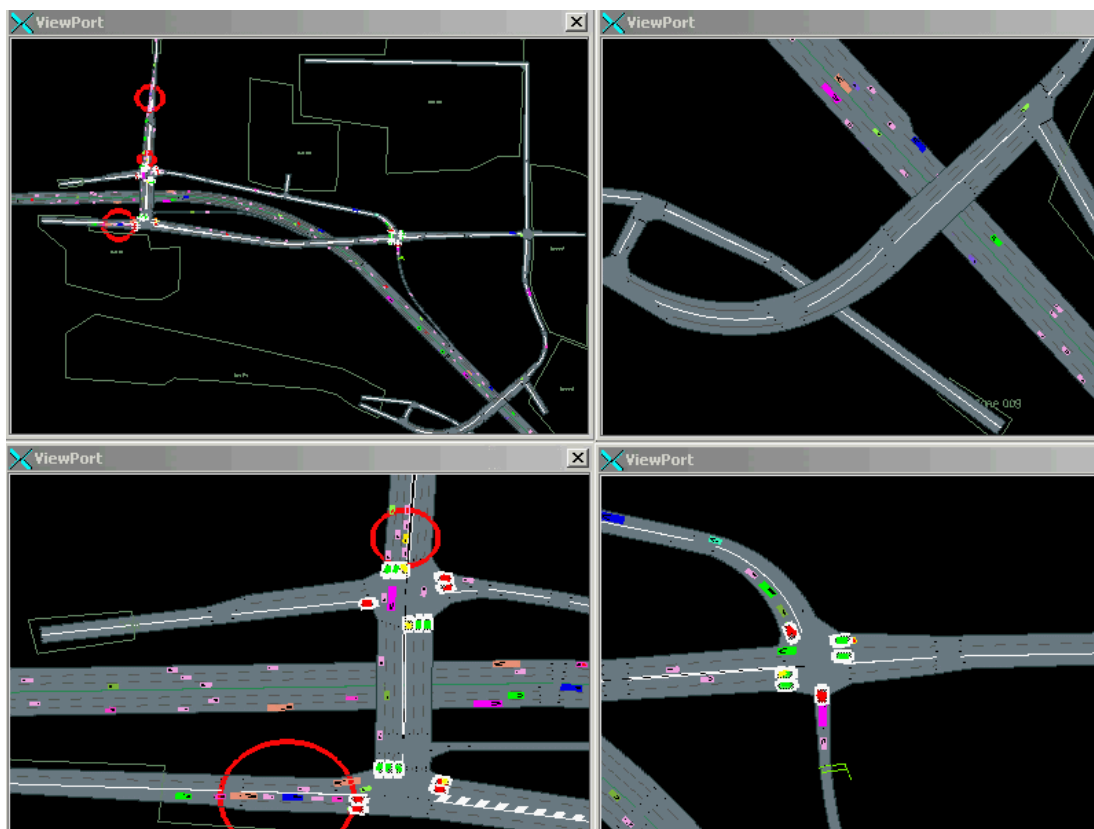


Figura 9 - Localizzazione delle criticità e quantificazione delle code

Tutte le informazioni possono essere richieste su una base temporale qualsiasi; ciò consente la possibilità, ad esempio, di analizzare con massimo dettaglio i parametri di deflusso, evidenziando come, sulla base di un minuto, il deflusso di traffico su una strada può superare anche del doppio la capacità teorica su base oraria (Figura 10).

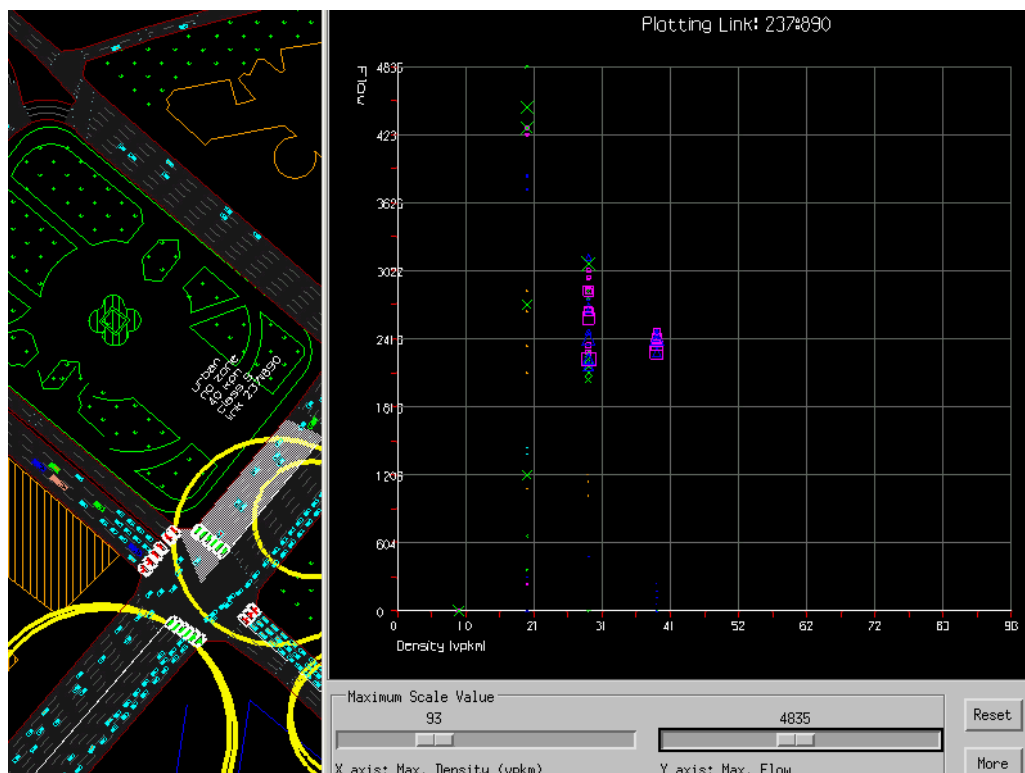


Figura 10 - Velocità istantanea del flusso (ogni minuto) sulla base del carico (veicoli/minuto)

4 STUDIO DI AREA VASTA NELLA PROVINCIA DI ALESSANDRIA

Lo studio ha interessato una rilevante porzione della Provincia di Alessandria, estesa per più di 500 km quadrati. All'interno della zona in esame sono stati individuati tre importanti interventi di viabilità in progetto:

- completamento della tangenziale di Alessandria;
- costruzione della variante alla ex S.S. 10 Padana inferiore tra Alessandria e Spinetta Marengo;
- costruzione della tangenziale di Pozzolo Formigaro e Novi Ligure.

La micro-simulazione ha evidenziato alcuni interessanti aspetti relativamente agli effetti che tali interventi si prevede possano avere sulla ripartizione del traffico sulla rete, alla previsione di utilizzo delle nuove infrastrutture (utile soprattutto in fase di analisi costi/benefici) e alla verifica della coerenza progettuale nell'ambito dello schema complessivo della viabilità. Inoltre, è stata effettuata una valutazione di impatto di un cantiere che verrà aperto sulla tratta già esistente della tangenziale di Alessandria per la realizzazione di un nuovo svincolo. Sia per i tre interventi indicati, sia per il cantiere sulla tangenziale, erano già disponibili i progetti preliminari.

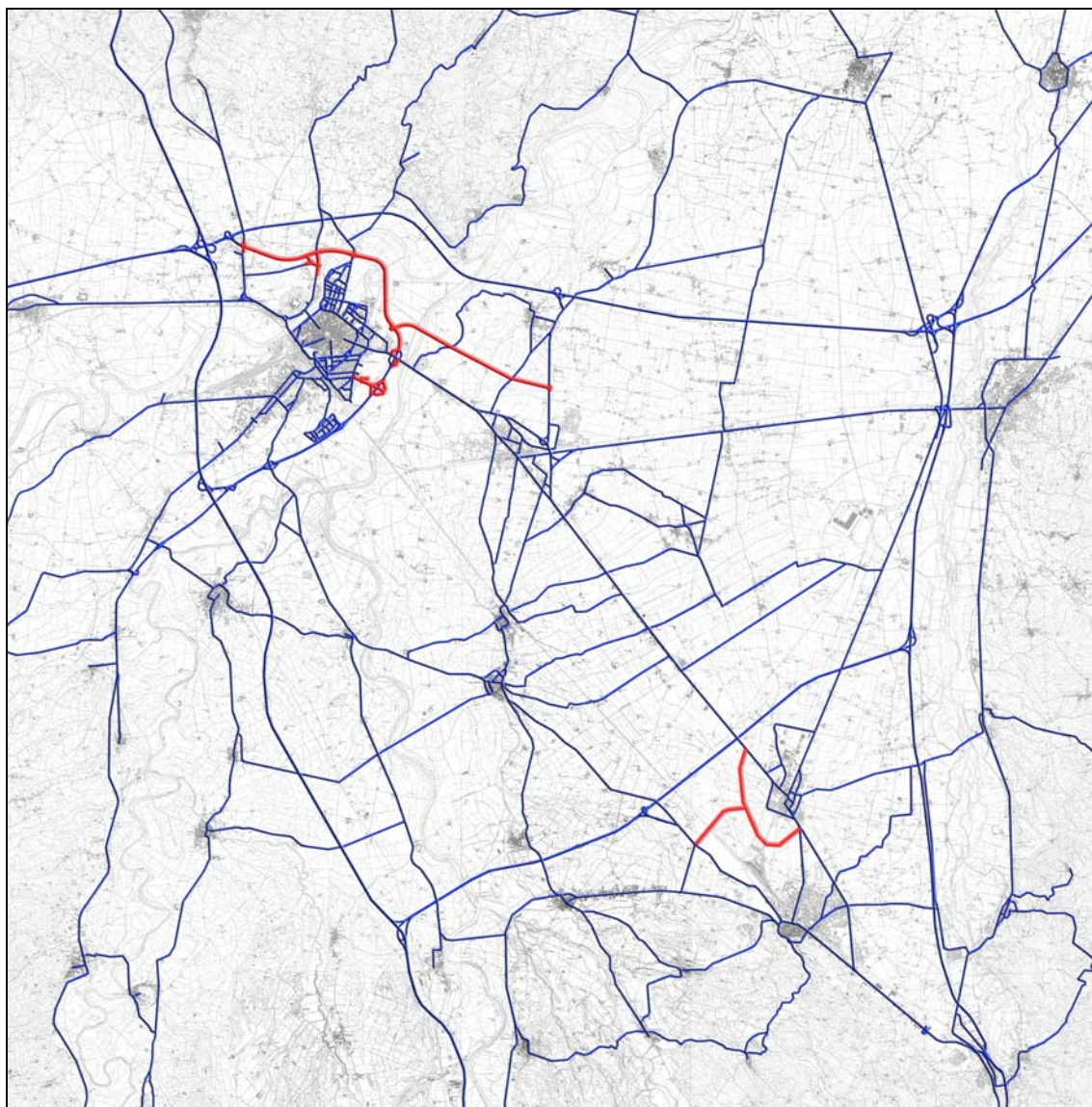


Figura 11 - Area di studio con interventi

5 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO

Si è proceduto alla codifica dell'intera rete stradale principale dell'area di studio, comprendente circa 100 km di autostrade, 130 km di ex strade statali, e più di 500 km di altre strade (provinciali e comunali); sono state altresì individuate e codificate 24 intersezioni semaforizzate ed una decina di rotatorie. La domanda è stata valutata sulla base delle informazioni relative al censimento ISTAT del 1991 opportunamente calibrato attraverso una serie di dati di traffico disponibili sulla rete primaria e secondaria. La simulazione è stata condotta nei periodi di massima punta della mattina e della sera; il modello, implementato su un semplice PC Pentium 1,5GHz e Windows 2000, ha simulato più di 36.500 veicoli contemporaneamente presenti sulla rete, effettuando ogni ora reale di simulazione in 10 minuti circa, calcolando la posizione ed il moto di ogni singolo veicolo ogni mezzo secondo. Nelle due ore della mattina sono circolati sulla rete 65.300 veicoli, percorrendo complessivamente 744.000 km.

Sia durante la simulazione che al termine della stessa è stato possibile individuare con estrema immediatezza alcune criticità della rete, evidenziate dal modello in termini di code e rallentamenti.

La rappresentazione dei flussi sulle singole tratte stradali e la funzione di confronto tra diverse simulazioni hanno consentito di valutare, inoltre, la nuova distribuzione del traffico sulla rete stradale nei vari scenari previsti.

5.1 Situazione attuale

Allo stato attuale la rete presenta, nelle ore di punta, alcune criticità di norma localizzate sulle principali arterie di accesso all'area urbana di Alessandria, dovute ad una forte prevalenza di flussi di traffico diretti verso il Capoluogo e ad una serie di intersezioni in cui sono presenti conflitti rilevanti con formazione di rallentamenti e code. In particolare, il modello ha evidenziato rilevanti criticità sulla ex Strada Statale N. 10, sia a Sud che a Nord di Alessandria. In alcune tratte, la ex S.S. 10 presenta flussi di traffico che, soprattutto alla mattina, creano code fino alla frazione di Spinetta Marengo, a circa 3,5 km, a causa di un impianto semaforico particolarmente critico (Figura 12).

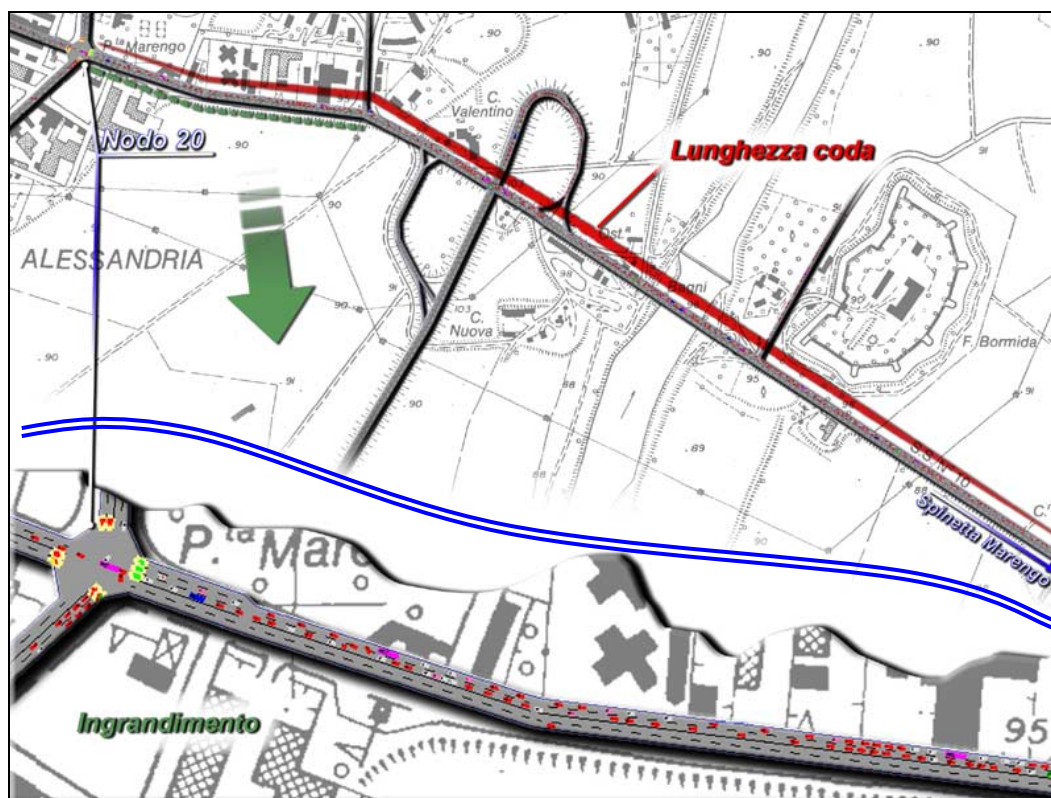


Figura 12 - Rallentamenti sulla ex S.S. 10 in ingresso ad Alessandria

Sono stati inoltre evidenziati criticità e frequenti rallentamenti nella tratta terminale della tangenziale, dove si raccorda alla ex S.S. n.10 attraverso uno svincolo a trombetta. Tale tratta risulta particolarmente significativa ai fini dello studio, in quanto sarà interessata dai cantieri per la realizzazione di un nuovo svincolo a monte di quello esistente. La Figura 13 rappresenta le criticità relative alla tratta sopra indicata.

Altre criticità sono emerse nella zona a Nord di Alessandria, di cui in Figura 14 si riporta un esempio significativo; dal quale si può evidenziare la potenzialità di analisi dello strumento utilizzato, che è stato in grado di segnalare in modo immediato e inconfutabile la scarsa efficienza della soluzione progettuale della rotatoria (da poco adottata), dovuta alla presenza, più a valle, di un'intersezione semaforica che costituisce un elemento di criticità determinante. L'utilizzo preventivo della micro-simulazione (ad esempio in fase di

progettazione della rotatoria) avrebbe evidenziato il problema e fornito utili indicazioni per una soluzione progettuale più adeguata.

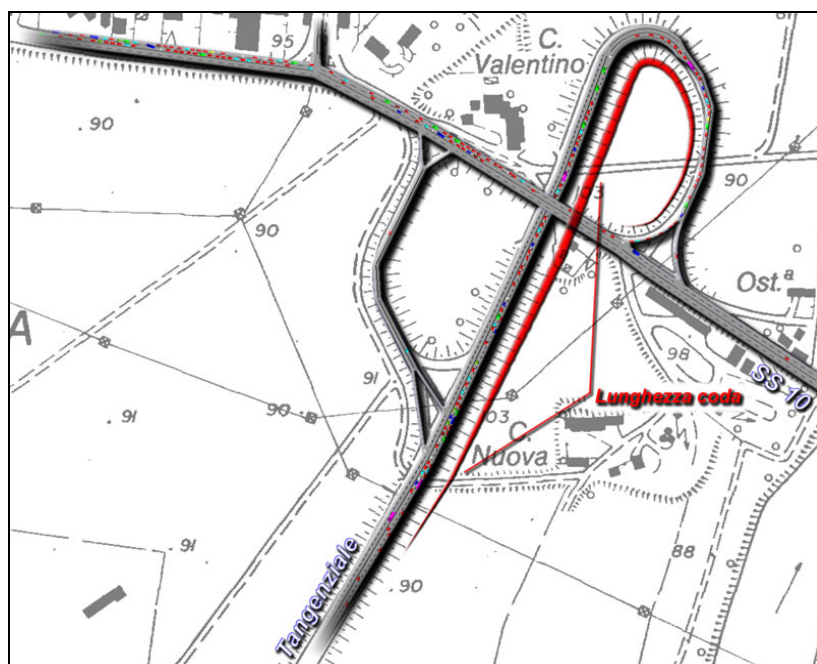


Figura 13 - Criticità nella tratta terminale della Tangenziale di Alessandria

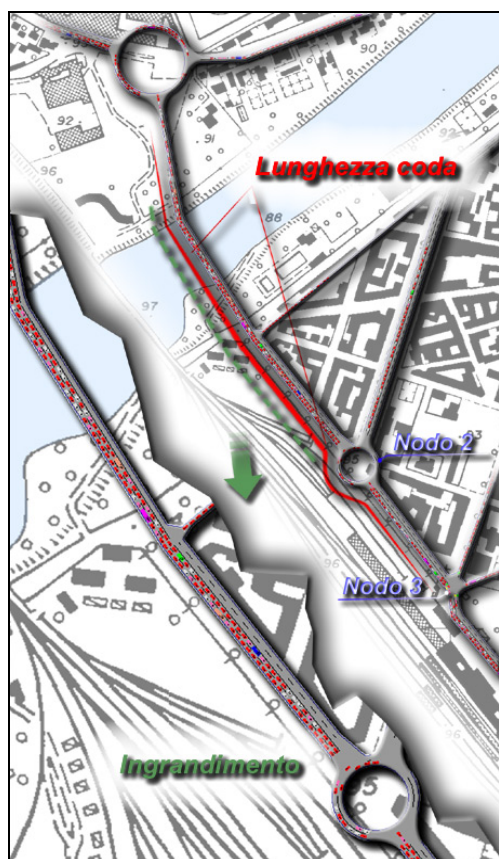


Figura 14 - Criticità urbane legate alla presenza di intersezioni semaforizzate

5.2 Simulazione della fase di cantiere sulla tangenziale

La fase di cantiere è stata simulata introducendo la chiusura di una semicarreggiata della tangenziale e predisponendo l'altra a doppio senso di circolazione (una corsia per senso di marcia). La velocità della tratta di cantiere (500 metri di lunghezza) è stata limitata a 50 km/h. La simulazione effettuata in presenza del cantiere evidenzia come le code ed i rallentamenti rimangono sostanzialmente i medesimi presenti attualmente nella tratta terminale della tangenziale (Figura 13), ma vengono traslati in prossimità del cantiere. Tale situazione riporta i livelli di traffico nella tratta terminale in condizioni normali.

5.3 Completamento della tangenziale di Alessandria

Il progetto prevede il prolungamento dell'attuale tangenziale fino al suo allacciamento con l'autostrada A21, Torino-Piacenza. La nuova infrastruttura alleggerisce la rete urbana orientale di Alessandria dalle correnti di traffico di attraversamento Nord-Sud e da quelle dirette alla zona meridionale della Città, riducendo drasticamente i rallentamenti e le code in ambito suburbano a fronte di un incremento, valutabile in circa il 10%, del traffico sulla tratta esistente della tangenziale.

La micro-simulazione ha evidenziato una preoccupante criticità sui rami della rotatoria di collegamento fra la ex.SS n. 31 e la nuova tratta della tangenziale (*Nodo 4*), dove si possono verificare code e perditempo di una certa rilevanza (Figura 15).

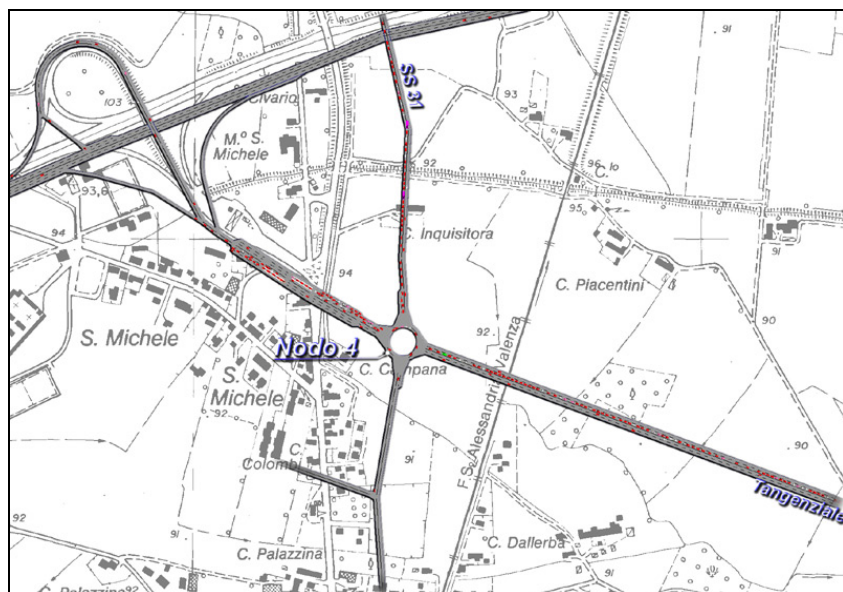


Figura 15 - Probabili rallentamenti presso la rotatoria di innesto della tangenziale con l'autostrada

5.4 Variante alla ex S.S. 10 Padana inferiore tra Alessandria e Spinetta Marengo

Detta variante è stata definita con lo scopo di potenziare il collegamento di Alessandria con la frazione di Spinetta, che il modello ha attualmente evidenziato come decisamente insufficiente. La simulazione evidenzia però che il tracciato individuato, decentrato e privo di collegamenti diretti verso la viabilità urbana; risulta un'alternativa assai poco appetibile, nonostante le criticità esistenti sulla viabilità attuale.

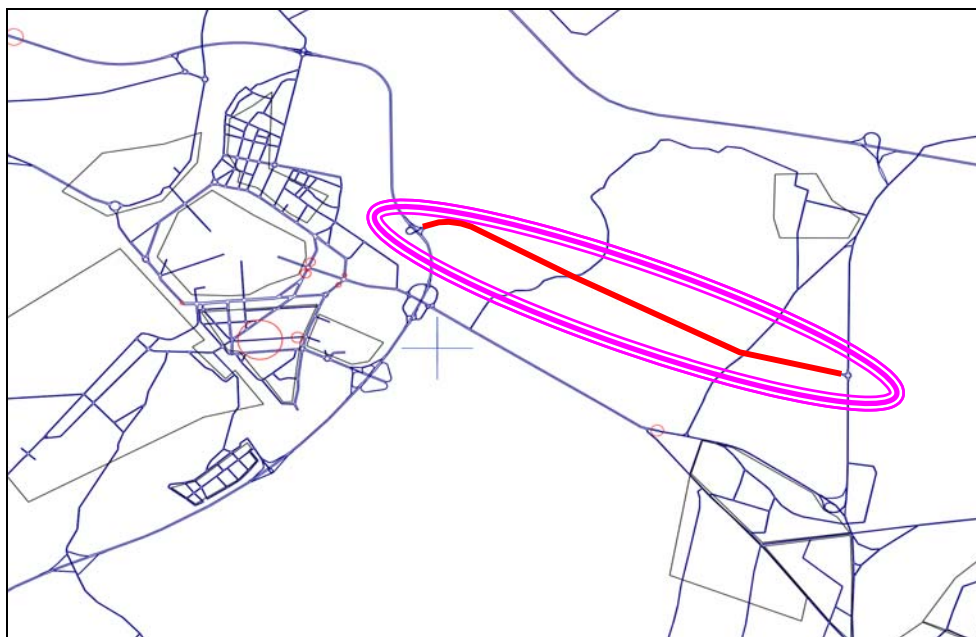


Figura 16 - Tracciato della variante alla ex S.S. 10 tra Alessandria e Spinetta Marengo

6 STUDIO PRELIMINARE DI IMPATTO SULLA VIABILITÀ DEL TRAFORO DEL MERCANTOUR E DELLE BRETELLE AUTOSTRADALI ALBENGA-CEVA

6.1 Principali obiettivi dello studio

L'obiettivo prioritario dello studio è stato quello di porre le basi per un'accurata analisi del sistema attuale delle infrastrutture primarie di trasporto nel settore Nord-occidentale italiano, con particolare riferimento a quelle della Liguria e della Provincia di Imperia, attraverso l'individuazione e l'analisi delle principali criticità riscontrabili, ed una previsione di sviluppo della mobilità a fronte di alcuni possibili scenari di sviluppo dell'offerta di trasporto a medio e lungo termine.

Tali previsioni costituiscono elementi propedeutici per una valutazione delle prospettive di sviluppo del sistema socio-economico dell'area e dei principali comparti produttivi, turistici e dei servizi esistenti.

La particolare posizione geografica della Provincia di Imperia fa sì che la maggior parte delle problematiche di mobilità si collochino in un complesso contesto internazionale.

Lo studio ha valutato la domanda di trasporto passeggeri e merci attuale e potenziale, individuando i flussi di traffico, i percorsi e le conseguenti criticità della rete infrastrutturale, valutando prima singolarmente e poi complessivamente i vari interventi in progetto in un'ottica sistemica, al fine di fornire elementi di valutazione sull'efficacia di tali interventi, sulle priorità e sulle ricadute economiche conseguenti.

Lo studio ha analizzato le principali componenti della mobilità e le differenti modalità di spostamento, con particolare attenzione alla componente turistica.

Pur risultando gli scenari in esame di carattere strategico a livello nazionale ed internazionale, l'utilizzo degli strumenti di micro-simulazione ha consentito di effettuare una analisi puntuale e precisa sui fenomeni di attrazione e di diversione che i nuovi assetti infrastrutturali possono creare in condizioni di traffico medie e nei periodi di intenso traffico turistico, dove l'instabilità del flusso autostradale diventa un elemento fondamentale per le valutazioni di traffico.

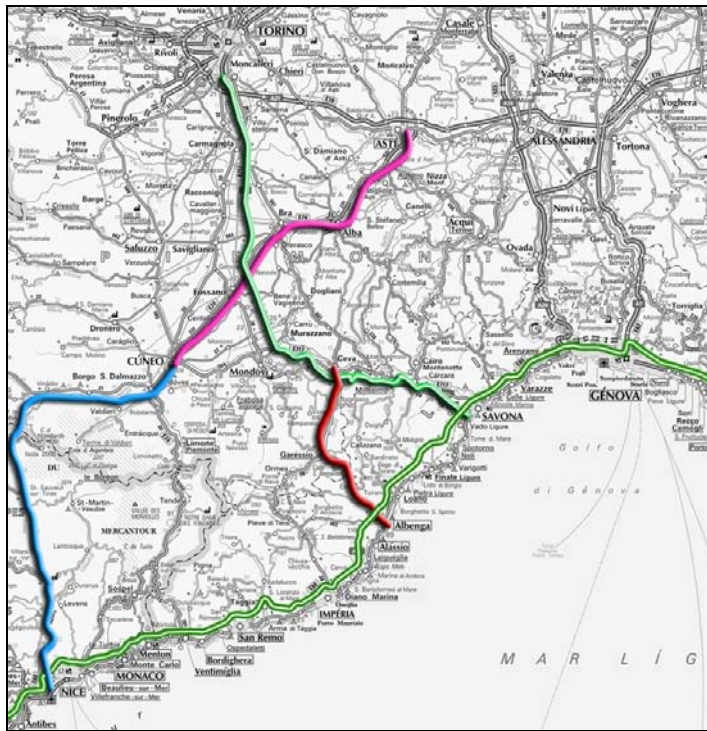


Figura 17 - Le infrastrutture simulate nei vari scenari

6.2 La simulazione del traforo del Mercantour

I costi di realizzazione e l'impatto ambientale pongono l'opera al centro di un dibattito che coinvolge un gran numero di attori chiamati in causa direttamente ed indirettamente.

La simulazione effettuata nel presente studio, in cui l'opera è stata abbinata alla nuova autostrada Cuneo-Asti già in costruzione, ha evidenziato la quota parte di traffico leggero e pesante che si prevede possa essere trasferita sulla nuova infrastruttura.

La nuova infrastruttura migliora in modo significativo i collegamenti tra la pianura Padana e la Francia meridionale; tuttavia, dal punto di vista dell'economia e del turismo nel Ponente ligure, tale miglioramento, se da un lato consente di scaricare in maniera significativa l'attuale rete autostradale dal traffico merci diretto verso la Francia, dall'altra aumenta il già forte potere attrattivo dei flussi turistici italiani verso la Costa Azzurra, rendendo tale zona ancora più competitiva ed appetibile. Inoltre l'intervento non produce alcun effetto benefico sulle criticità della rete autostradale ligure presenti nei giorni festivi ed in estate (Figura 18).

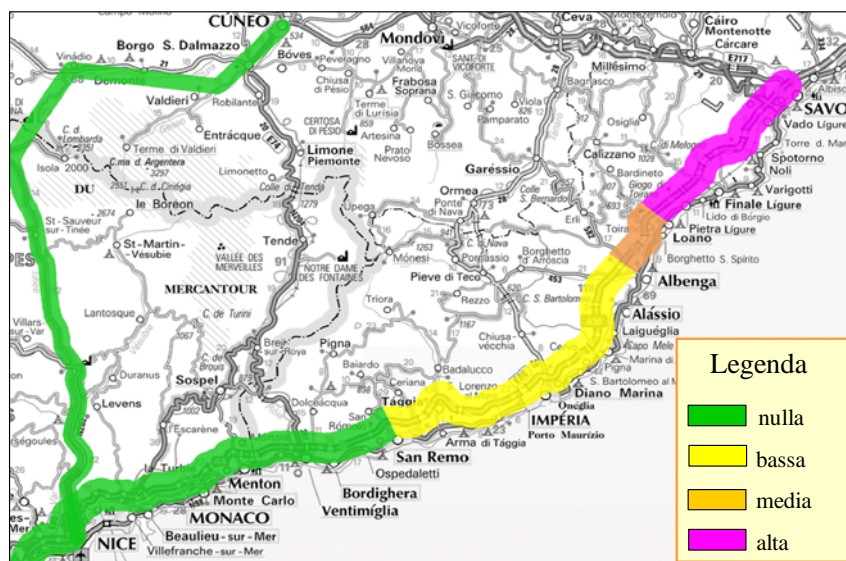


Figura 18 - Criticità della rete autostradale con il Mercantour

6.3 Scenario Albenga-Garessio-Ceva

Il raccordo autostradale tra Albenga a Ceva costituisce una concreta e valida alternativa di collegamento fra il Ponente ligure ed il Piemonte. Il modello di simulazione evidenzia come, scaricando la tratta autostradale Albenga-Savona dai flussi provenienti da Ovest e diretti verso Torino, si eliminano totalmente le congestioni tipiche dei rientri del fine settimana e dei periodi estivi in genere. Nei diagrammi seguenti vengono confrontati alcuni parametri prestazionali della rete nella condizione attuale e con il raccordo in esame.

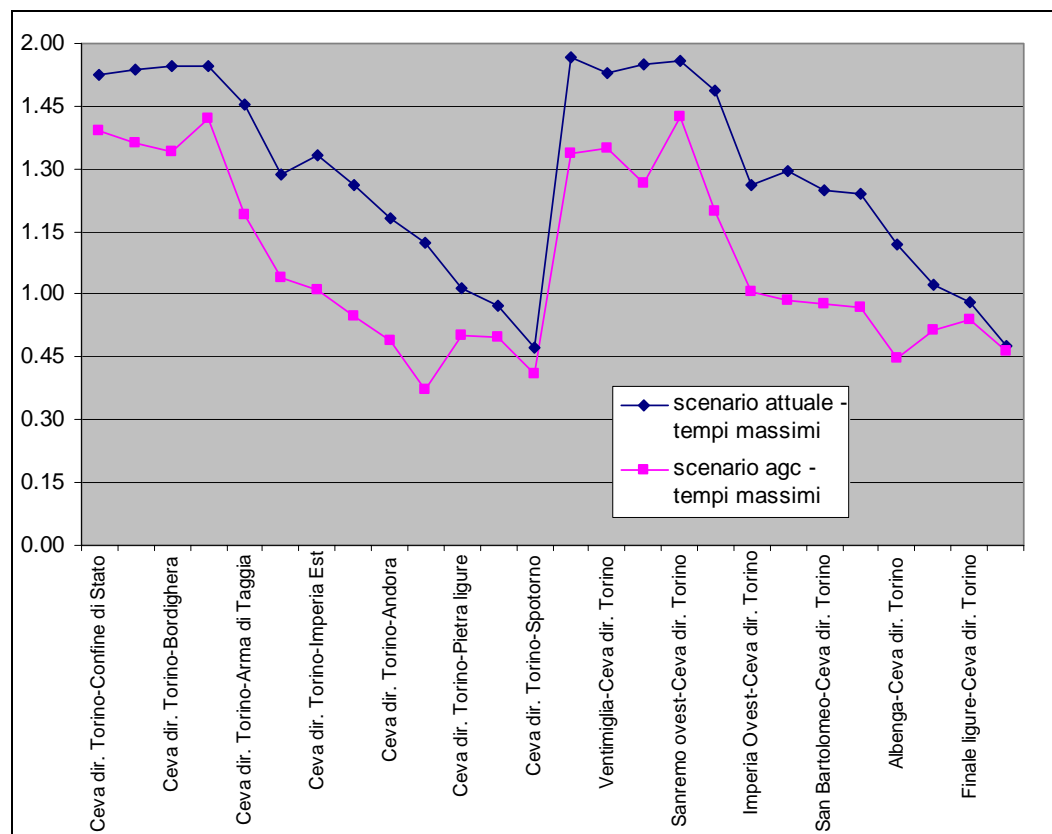


Figura 19 - Confronto fra i tempi massimi di viaggio attuali e futuri

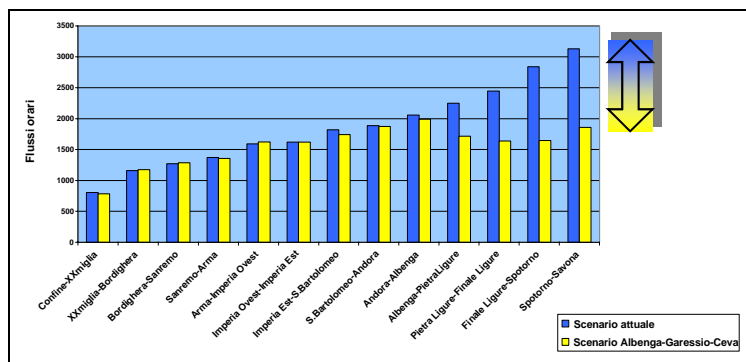


Figura 20 - Confronto fra flussi di traffico attuali e futuri

6.4 Scenario autostradale complessivo

Lo scenario in questione prevede la presenza contemporanea del traforo del Mercantour, del raccordo Albenga-Garessio-Ceva e dell'autostrada Asti-Cuneo.

La distribuzione dei flussi di traffico risulta equilibrata, e sull'Autostrada dei Fiori permangono margini adeguati di incremento. L'effetto di diversione del Mercantour viene attenuato da un potenziamento delle infrastrutture di collegamento tra la Liguria ed il Piemonte; inoltre si può prevedere un discreto miglioramento delle condizioni di traffico sulla tratta autostradale Savona-Genova, in quanto l'asse Asti-Nizza risulta un percorso alternativo appetibile anche per i collegamenti con la Lombardia. Analogamente, nelle ore di massima punta, il raccordo Albenga-Garessio-Ceva può diventare una valida alternativa di percorso anche per i collegamenti della zona di Imperia con la Lombardia.

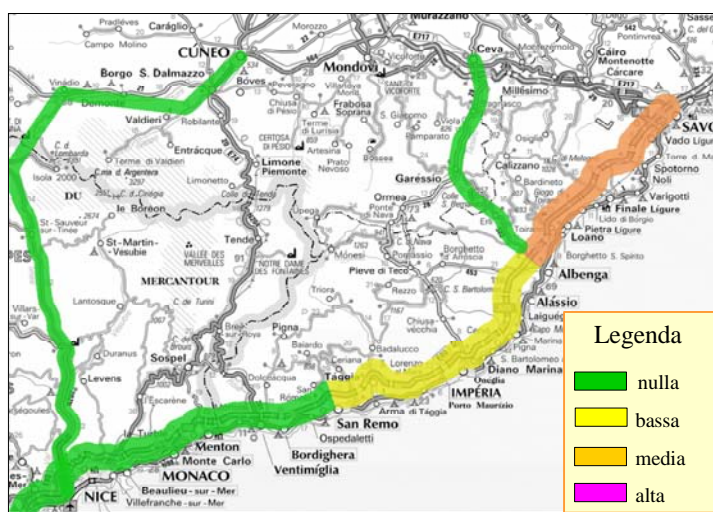


Figura 21 - Scenario complessivo: Criticità della rete di I livello

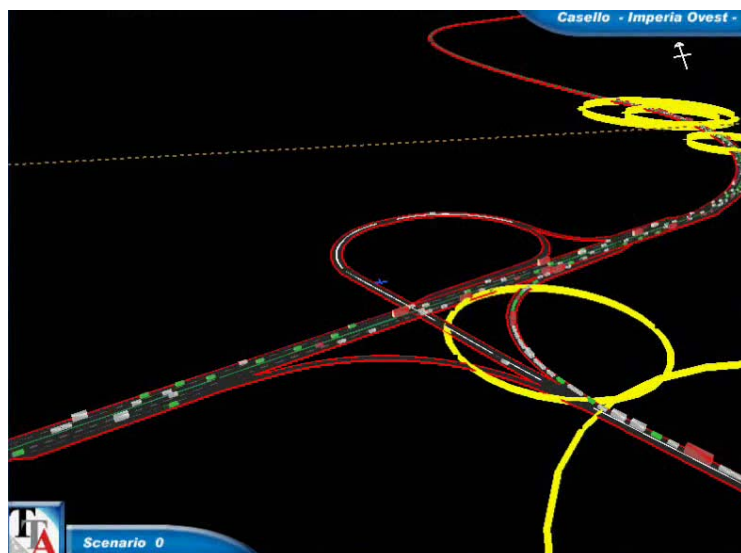


Figura 22 - Micro-simulazione sull'autostrada

7 ANALISI DELLA TRATTA DEL G.R.A. DI ROMA TRA GLI SVINCOLI TUSCOLANA E APPIA

Lo studio ha inteso tracciare una nuova e moderna metodologia di analisi dei flussi di traffico sul Grande Raccordo Anulare di Roma, analizzando una porzione di rete compresa tra gli svincoli “Anagnina - Tuscolana” e “Appia” con uno strumento di micro-simulazione dinamica del traffico. Tale metodologia, in grado di verificare le carenze infrastrutturali che provocano le principali criticità nel deflusso, potrà essere estesa con grande efficacia all'intero G.R.A. ed alle interconnessioni con la viabilità di penetrazione urbana, diventando di fatto un potente strumento di analisi e di monitoraggio del traffico ed un mezzo efficace per la definizione e la verifica delle soluzioni progettuali di miglioramento e potenziamento della rete.

Tale strumento potrebbe inoltre costituire l'elemento basilare per un sistema informativo della mobilità di riferimento per qualsiasi studio e analisi degli effetti della pianificazione/programmazione territoriale e dei trasporti sul traffico e sulla mobilità, offrendo uno strumento di analisi complessiva dei fenomeni di instabilità dei flussi sulla rete nelle principali ore di punta.

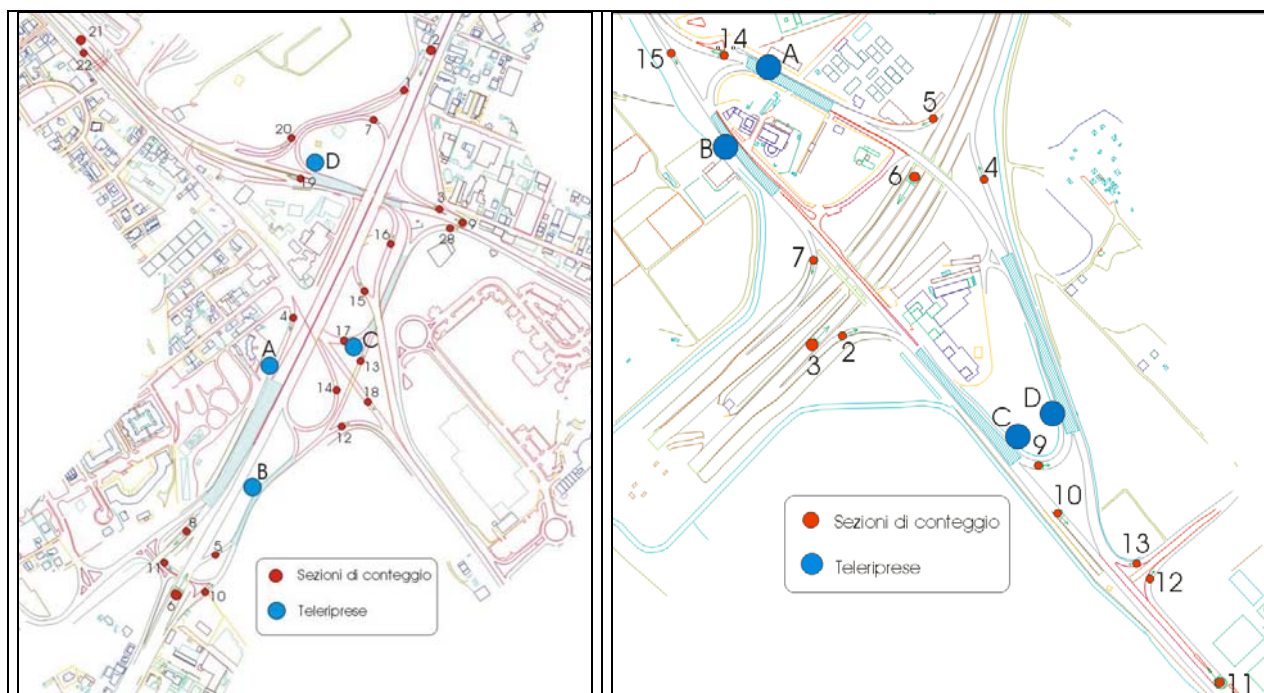


Figura 23 - Tuscolana e Appia: schema degli svincoli e postazioni di rilievo

Lo studio ha analizzato nel dettaglio la situazione dei due svincoli sopra indicati, specificando le principali ragioni che determinano l'insorgere di fenomeni di instabilità nei flussi di traffico delle ore di punta, individuando i punti di conflitto della rete maggiormente critici e valutando gli effetti delle soluzioni progettuali in corso di definizione.

La situazione del traffico sul G.R.A. risulta particolarmente critica in diverse ore della giornata; ciò è dovuto all'intenso flusso di traffico in transito ed alle conseguenti densità veicolari. Le rilevazioni di traffico hanno confermato che sia su base oraria che, in maniera ancor più evidente, su base temporale più breve, la portata della strada supera ampiamente quella teorica, con punte che superano anche del 200% la capacità teorica.

In queste condizioni, i fenomeni di instabilità e di congestione sono frequenti, e derivano principalmente da irregolarità nel deflusso anche minime che, in casi normali, risulterebbero trascurabili. Tali irregolarità possono avvenire per molti motivi, anche aleatori ed imprevedibili; vi sono due principali cause che possono essere individuate e, almeno in parte, localizzate: le zone in prossimità degli svincoli di accesso/egresso e le aree di scambio degli svincoli stessi. In tali zone, infatti, è più frequente riscontrare dei piccoli fenomeni di instabilità che, a causa della rilevante densità di traffico e dei ridotti spazi di manovra tra veicoli adiacenti, provoca una immediata propagazione del fenomeno.

Attraverso la micro-simulazione è stato possibile individuare ed analizzare nel dettaglio tali fenomeni e fornire utili indicazioni progettuali atte ad individuare gli interventi migliorativi.



Figura 24 - Il grafo della rete implementato

7.1 *Caratteristiche dei veicoli*

I veicoli circolanti sulla rete sono stati classificati nelle seguenti 6 differenti tipologie:

- autoarticolati
- autocarri
- furgoni
- auto di grossa cilindrata
- auto di media cilindrata
- auto utilitarie

Ciascuna tipologia è stata contraddistinta attraverso specifiche caratteristiche fisiche (lunghezza, larghezza, altezza, peso in tonnellate, età, velocità massima, accelerazione, decelerazione, , presenza o meno di rimorchio, lunghezza, larghezza, altezza e peso dell'eventuale rimorchio) e quantitative (percentuale sul totale dei veicoli circolanti).

7.2 *Caratteristiche dei conducenti*

Anche i conducenti possono essere classificati, sulla base dei comportamenti prevalenti, in funzione dei seguenti parametri:

- tempo di reazione

- esperienza di guida
- aggressività di guida

Sulla base delle specifiche rilevazioni effettuate è stato accertato che il reale comportamento degli utenti del G.R.A. è mediamente molto “aggressivo”; infatti i conducenti tendono a non rispettare le distanze di sicurezza ed a mantenere un comportamento “disinvolto” (ed a volte assai pericoloso) nelle manovre di scambio. Per tali ragioni i parametri comportamentali dell’utente sono stati impostati ai valori corrispondenti alla massima aggressività.

7.3 *Principali parametri della simulazione*

La micro-simulazione è stata condotta dalle ore 8 alle ore 9 dopo aver effettuato un *precarico* della rete di 20 minuti necessario al fine di analizzare i flussi dell’ora di punta simulata partendo dalla rete già carica.

Per l’individuazione dei percorsi da utilizzare in fase di assegnazione è stato scelto un semplice algoritmo deterministico di ricerca dei cammini minimi sulla base dei tempi e della lunghezza del percorso, in quanto sulla rete simulata di fatto non esistono alternative tra singole relazioni O/D.

L’insorgenza delle code viene segnalata dal modello allorché la distanza tra i veicoli in coda risulta inferiore ai 10 m e la velocità scende al di sotto dei 7 Km/h.

7.4 *Principali indicatori prestazionali della rete*

Il micro-simulatore è in grado di evidenziare un’ampia serie di parametri che forniscono le indicazioni relative al livello prestazionale della rete in generale e dei singoli componenti (nodi ed archi).

In particolare, i principali parametri che possono essere raccolti e analizzati sono:

- flussi medi ed istantanei sugli archi e sui nodi (manovre);
- densità media ed istantanea;
- velocità media e istantanea del flusso e dei singoli veicoli circolanti;
- ritardo medio dei veicoli (rallentamenti);
- lunghezza e propagazione delle code;
- criticità e Livelli di Servizio;

Questi dati possono essere suddivisi, raccolti ed analizzati distinguendo le singole tipologie di veicoli o complessivamente; le informazioni possono essere rilevate per singolo istante di simulazione o per un qualsiasi periodo temporale di riferimento (ad esempio 5, 10, 15 minuti, un’ora, l’intera giornata, ecc.).

7.5 *Lo scenario di progetto*

Gli interventi progettuali in studio si riferiscono a modifiche sui rami di svincolo della Tuscolana (Figura 25).

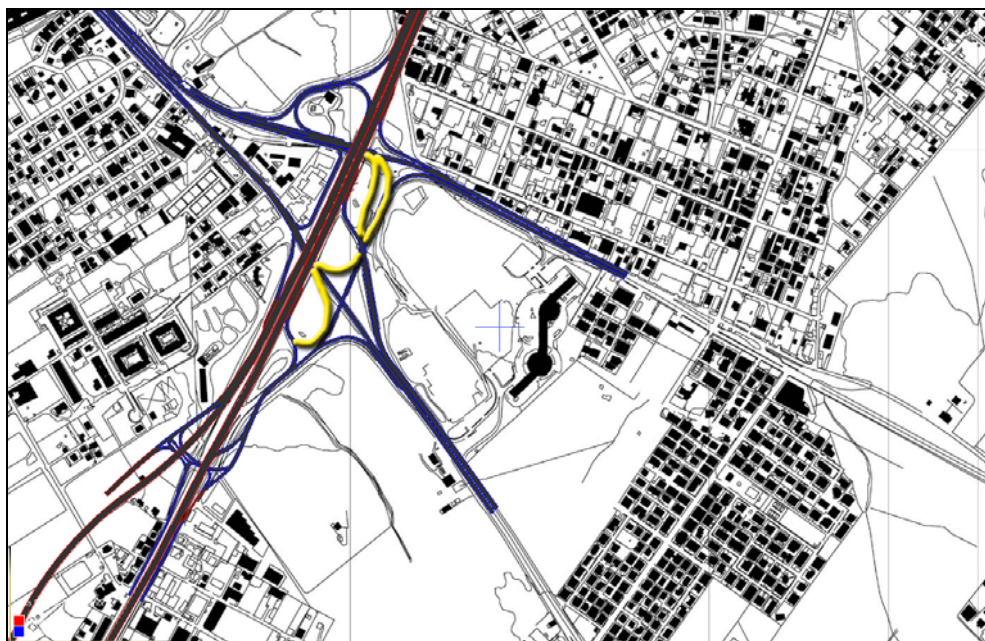


Figura 25 -Stato attuale della rete con indicazione delle rampe da eliminare



Figura 26 - Nuova configurazione della rete in progetto

L'analisi dello scenario di intervento ha evidenziato un netto miglioramento delle condizioni di circolazione sulla carreggiata esterna del G.R.A. non solo nei pressi dello svincolo Anagnina - Tuscolana, ma sull'intera tratta simulata, a dimostrazione che gran parte delle criticità del G.R.A. sono dovute alle perturbazioni dei flussi di traffico legate alle manovre di ingresso / uscita.

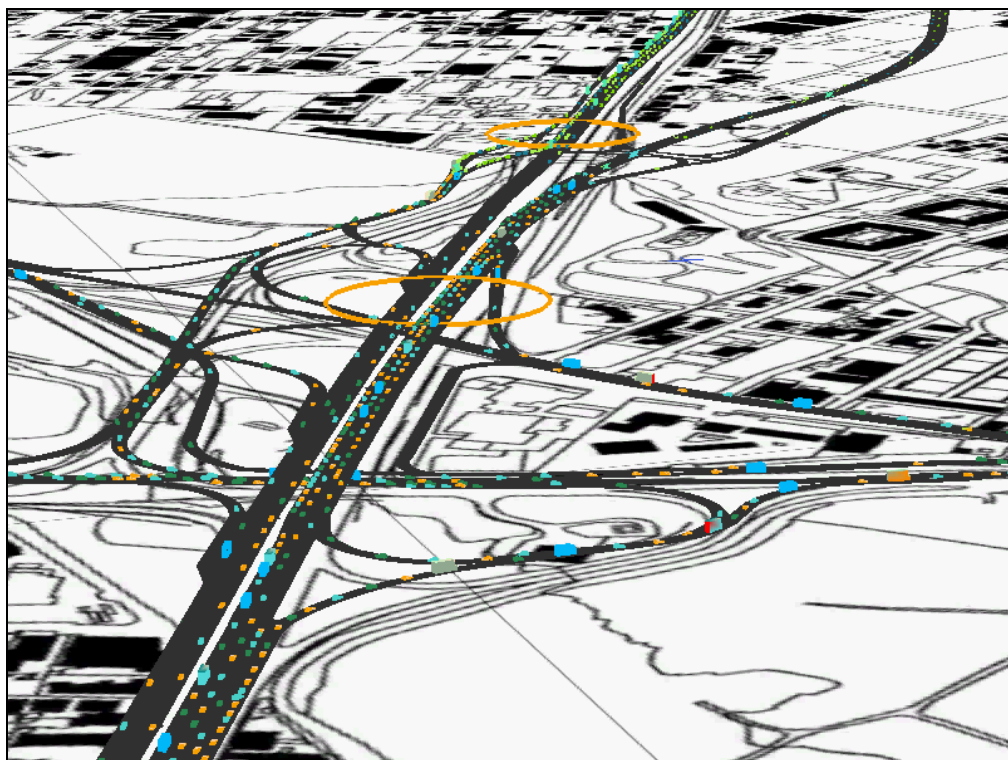
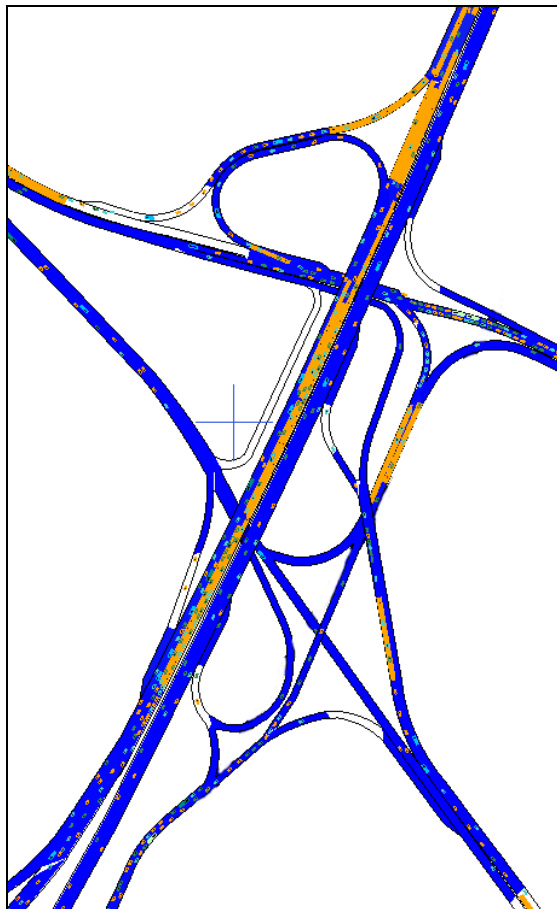


Figura 27 - Micro-simulazione dello svincolo Anagnina - Tuscolana

Situazione attuale



Situazione futura



Figura 28 - localizzazione delle code: confronto tra situazione attuale e futura

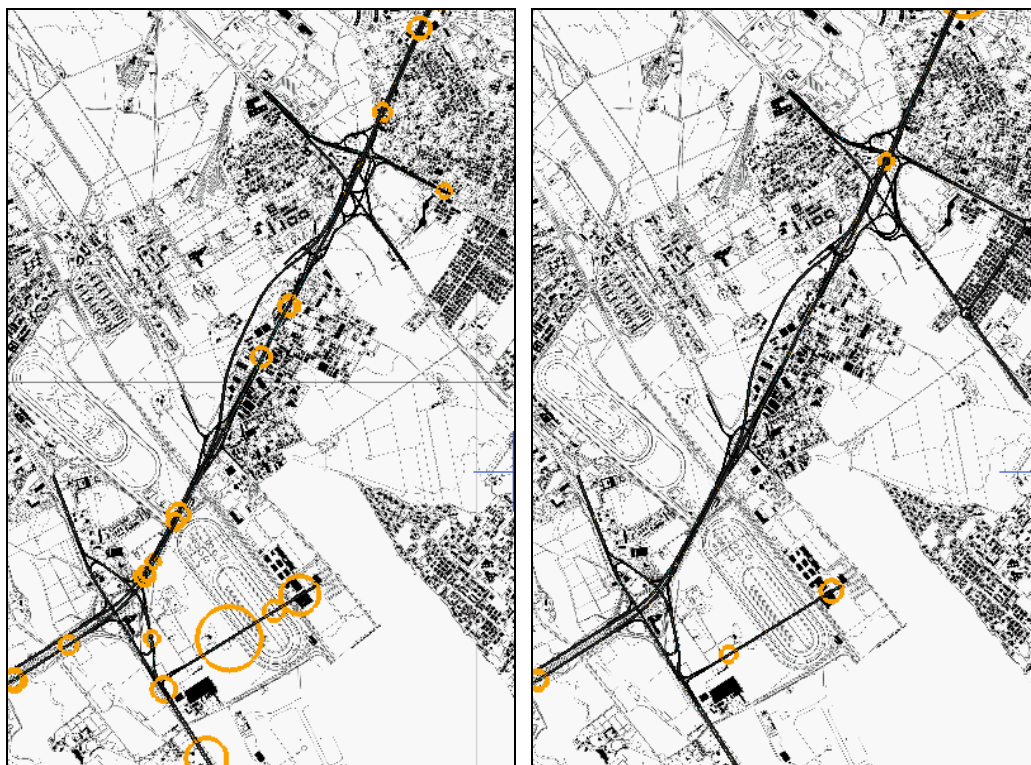


Figura 29 - G.R.A.: stato attuale e di progetto

8 CONCLUSIONI

La micro-simulazione di tipo “dinamico” può essere utilizzata con grande profitto su vaste porzioni di territorio per la valutazione dello stato attuale della rete e per l’individuazione delle criticità non solo sugli archi, ma anche sui nodi (intersezioni) e sugli altri elementi specifici della rete. Gli strumenti di micro-simulazione possono pertanto diventare lo strumento indispensabile per la valutazione di nuovi progetti di viabilità relativi alle strade ed alle intersezioni; nonché per analisi di dettaglio quali l’impatto della presenza di cantieri stradali o di incidenti, la verifica di parametri ambientali legati alle emissioni, la verifica di impatto sulla viabilità di nuovi insediamenti, l’impatto del traffico pesante, ecc..

Il realismo ed il dettaglio con cui vengono simulate le varie situazioni di traffico, anche in termini comportamentali, consentono applicazioni anche nell’analisi della sicurezza delle strade, fornendo indicazioni assai utili sui punti di maggior conflitto di flussi e/o su eventuali carenze delle infrastrutture.

Sotto l’aspetto gestionale, è possibile implementare uno strumento in grado di rispondere rapidamente ai molti interrogativi sulla viabilità e sul traffico che la Pubblica Amministrazione deve affrontare quotidianamente nella gestione della propria rete stradale.

9 NOTE

Per ovvi motivi di *proprietà* dei dati, i casi studio citati nell’articolo sono stati presentati nelle linee generali evitando di riportare le specifiche informazioni quantitative, tutte peraltro disponibili nei modelli implementati e utilizzati ai fini delle analisi condotte nell’ambito degli studi di traffico.

10 BIBLIOGRAFIA

- Dellasette M. (2002), *La micro-simulazione su area vasta, Le Strade 10*, pp. 112-119, Ed. La Fiaccola, Milano, Italia.
- Cameron GDB and Duncan GID (1996) *PARAMICS, parallel microscopic simulation of road traffic*. Journal of supercomputing. Vol. 10, no. 1, pp. 25-53.
- Duncan GI (1995) *PARAMICS Wide Area Microscopic Simulation Of ATT And Traffic Management*. Proceedings Of The 28th International Symposium on Automotive Technology and Automation (ISATA) Held 18th-22nd September 1995 In Stuttgart, Germany. 1995. pp. 475-84.
- Duncan G (1996) *Simulation At The Microscopic Level*, Traffic Technology International. 1996/02/03. pp62-3,65-6, UK & International Press, 120 South Street, Dorking, Surrey, RH4,UK
- McArthur D (1995) *The Paramics-CM (Parallel Microscopic Traffic Simulator For Congestion Management) Behavioural Model*, Transportation Planning Methods. Proceedings Of Seminar E Held At The 23rd European Transport Forum, University Of Warwick, England, September 11-15, 1995. Volume P392. 1995. pp. 219-31.
- Smith M, Duncan G and Druitt-S (1995) *PARAMICS: Microscopic Traffic Simulation For Congestion Management*. Dynamic Control Of Strategic Inter-Urban Road Networks. Institution of Electrical Engineers, London.