



Comune di Maiori

Sindaco
Antonio Capone

MAIORI

PIANO URBANISTICO COMUNALE

Studio trasportistico

R.1.2

geol. Rosanna Miglionico
studi geologici

arch. Maria Cafuoco
Responsabile del procedimento

agr. Fabio Sorrentino
studi agronomici

arch. Giovanni Infante
Pianificazione urbanistica e territoriale

arch. Marco Busillo
arch. Marco Cretella
arch. Alfonso Polidoro
anagrafe edilizia

arch. Antonio Mattei
studio di zonizzazione acustica

arch. Giosuè Gerardo Saturno
Progettazione e valutazione in ambiente gis

**ATTO DI CONVEZIONE PER ATTIVITA'
DI SUPPORTO TECNICO - SCIENTIFICO
IN MATERIA DI
MOBILITA' E TRASPORTI
ALLA ELABORAZIONE DEL PIANO
URBANISTICO COMUNALE DI MAIORI**

**Studio Trasportistico
di supporto alla
Elaborazione del P.U.C.
di Maiori**

*Laboratorio di Analisi di Sistemi di Trasporto
Dipartimento di Ingegneria Civile
Università di Salerno*



*Responsabile scientifico
Roberta Di Pace*

Gruppo di lavoro:



Laboratorio Analisi di Sistemi di Trasporti

Dipartimento di Ingegneria Civile - Università degli Studi di Salerno

- Prof.ssa Ing. Roberta Di Pace, Responsabile scientifico

Esecuzione delle indagini

Laboratorio di Analisi di Sistemi di Trasporto

Dipartimento di Ingegneria Civile - Università di Salerno

Comune di Maiori

- Arch. Maria Cafuoco, Responsabile dell'Area Tecnica, Urbanistica e Demanio Marittimo del Comune di Maiori
- Arch. Giovanni Infante, incaricato per la progettazione urbanistica e la valutazione ambientale del P.U.C.
- Arch. Giosuè G. Saturno, incaricato per la progettazione urbanistica in ambiente GIS del P.U.C.

Indice

1	Premessa.....	4
2	Inquadramento del problema.....	7
2.1	Scenario attuale.....	9
2.2	Scenario di intervento	10
3	Stima del flusso di domanda.....	11
3.1	Stima del flusso di domanda attuale	11
3.2	Stima dei flussi indotti da nuovi interventi.....	17
3.2.1	Stima dei flussi di domanda indotti dalle aree P.I.P.	17
3.2.2	Stima dei flussi relativi alla realizzazione/potenziamento di parcheggi.....	18
3.2.3	Definizione del bacino di utenza e ripartizione dei flussi	19
3.3	Stima dei flussi relativi al distaccamento dei VV.FF.	19
3.4	Stima dei flussi relativi al dislocamento del terminal bus	20
4	Analisi degli impatti: scenari di simulazione.....	22
4.1	Scenario attuale.....	22
4.2	Scenario futuro senza interventi escluso l'impatto del dislocamento del terminal bus	28
4.3	Scenario futuro con interventi.....	29
4.3.1	Impatto dell'area P.I.P. in Vecite, del distaccamento dei VV.FF. e del parcheggio in Demanio.....	31
4.3.2	Impatto dell'area P.I.P. in Vecite, del distaccamento dei VV.FF. del parcheggio in Demanio e dei parcheggi in via nuova Chiunzi	32
4.3.3	Impatto di tutti i flussi indotti incluso quello relativo al dislocamento del terminal bus.....	34
5	Sintesi.....	36
6	Conclusioni.....	39
	Appendice A: Calibrazione e Validazione del modello di microsimulazione.....	41
	Verifica, validazione e calibrazione del modello	41
	Misure aggregate di Goodness-of-Fit	42
	Analisi statistica degli output di microsimulazione	44
	Identificazione del numero statisticamente ottimale di simulazioni	46
	Calibrazione dei modelli di microsimulazione	47
	Appendice B: Misure di performance.....	50
	Misure di performance comuni utilizzate nelle analisi di simulazione.....	51

1 Premessa

Il presente studio si inserisce nell'ambito del processo di elaborazione del Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.) di Maiori, costituendone parte integrante e di supporto per la valutazione dei possibili impatti significativi sul sistema della mobilità e dei trasporti derivanti dall'attuazione degli interventi di trasformazione territoriale e urbanistica previsti, delle alternative possibili e delle scelte e delle soluzioni finali da adottare.

In particolare, tenendo conto degli interventi previsti nell'ambito dell'intero processo di elaborazione del P.U.C., sia con riferimento alla sua “proposta preliminare” che a quanto emerso nel corso della elaborazione “definitiva”, e della significatività degli impatti da essi indotti, il fulcro della analisi del presente documento è stato identificato con l'area territoriale circostante via nuova provinciale Chiunzi delimitata a nord in prossimità di via Demanio in località Vecite ed a sud dalla strada Statale Amalfitana. Di conseguenza, a seguito di una analisi preliminare relativa sia ai contenuti delle previsioni programmatiche/operative del P.U.C. che all'attuale assetto trasportistico in termini di viabilità nonché ai flussi osservati del Comune di Maiori, lo studio ha affrontato come principale problematica quella relativa agli impatti derivanti dai seguenti interventi:

- 1) il distaccamento provinciale dei VV. FF. in località Demanio;
- 2) la riqualificazione delle aree libere ricomprese nell'ambito retrostante l'Istituto Tecnico di via nuova provinciale Chiunzi con sottostanti parcheggi interrati;
- 3) la riqualificazione dell'area delle attrezzature scolastiche nella direzione di salita di via Nuova Chiunzi con relativi parcheggi;
- 4) la realizzazione di un P.I.P. prevalentemente destinato al settore agricolo - alimentare lungo via nuova provinciale Chiunzi in Tramonti, in località Vecite;
- 5) il parcheggio localizzato in zona Demanio ivi inclusa l'integrazione delle funzionalità di servizio del sistema con un servizio di navetta elettrica;
- 6) l'ampliamento di parcheggio esistente su via Chiunzi, al di sotto del borgo Castello;
- 7) la delocalizzazione del terminal bus in località Demanio;
- 8) la realizzazione di un P.I.P. prevalentemente destinato al settore commerciale – artigianale in località Demanio.

La analisi degli impatti sul regolare deflusso veicolare sono stati funzionali a comprendere se la realizzazione di tali interventi indurrà fenomeni di congestione coerenti con la capacità delle infrastrutture esistenti. Nella fattispecie, con il supporto di un approccio descrittivo, ossia basato su successive simulazioni delle prestazioni del sistema di trasporto in analisi, si è proseguito ad

implementare gli interventi previsti nello scenario trasportistico attuale; una volta implementati tali interventi se ne sono, dunque, osservati ed analizzati gli impatti per poi proporre scenari di intervento alternativi fino alla identificazione del migliore assetto della viabilità. In particolare, sono state analizzate tutte le infrastrutture interne all'area geografica direttamente influenzata dalla realizzazione degli interventi sopra elencati e, per ciascuna di esse, è stato simulato il grado di utilizzo in termini di prestazioni con specifico riferimento ai fenomeni di accodamento. La sintesi degli interventi ha riguardato:

- L'integrazione del numero di infrastrutture utilizzate e la variazione dei sensi di marcia con la finalità di ridurre complessivamente il numero dei conflitti alla intersezione, regolamentata a regole di priorità rappresentativa del nodo di confluenza fra via nuova provinciale Chiunzi e la statale amalfitana;
- L'incremento di capacità con la eliminazione della sosta laterale su via nuova provinciale Chiunzi e parte della statale amalfitana;
- La prescrizione dell'introduzione di un dispositivo di trasmissione di informazione all'utenza (Pannello a Messaggio Variabile, P.V.M.) con la finalità di impedire ai veicoli di transitare lungo la statale amalfitana invitandoli a parcheggiare all'ingresso del comune di Maiori e/o l'inserimento di un dispositivo semaforico atto a laminare a monte il flusso di traffico evitando il rigurgito di code a valle in prossimità dell'incrocio fra via Amendola e la statale Amalfitana.

Tale prescrizione richiede in ogni caso uno studio specifico.

Inoltre, è opportuno osservare che le analisi delle aree P.I.P. hanno richiesto la quantificazione del flusso veicolare indotto con conseguente effetto dell'incremento delle criticità; il distaccamento di VV.FF. e la delocalizzazione del terminal bus, nonché il parcheggio in località Demanio hanno favorito in maniera gravosa lo spostamento del fulcro dei relativi spostamenti in altre zone inducendo impatti in termini di risonanza con il flusso esistente e quello indotto dalle aree PIP; la simulazione dei nuovi parcheggi lungo via nuova provinciale Chiunzi, ha avuto il duplice impatto sia sul numero di veicoli attratti ed emessi nella zona, sia sulla riduzione di capacità alla immissione lungo via nuova Provinciale Chiunzi. Va infine osservato che la delocalizzazione di mezzi pesanti quali VV.FF. e bus implica un impatto fortemente gravoso nella composizione del flusso veicolare soprattutto ai nodi di confluenza delle infrastrutture ed in particolare al nodo di confluenza fra via nuova provinciale Chiunzi e la statale amalfitana.

In definitiva, dunque, vengono proposti tre scenari di analisi complessivi: lo scenario attuale, nel quale vengono simulati tutti gli interventi ad esclusione dell'area P.I.P. in località Demanio a prevalente

destinazione commerciale ed artigianale; uno scenario di intervento alternativo, che prevede la proposta di un nuovo assetto in termini di viabilità, del quale sono state analizzate le prestazioni sia in presenza che in assenza dei parcheggi lungo via nuova provinciale Chiunzi nonché in assenza e presenza della delocalizzazione del terminal bus.

Il tutto è stato affrontato mediante l'approccio più avanzato esistente nella letteratura scientifica e nella pratica professionale, ovvero mediante simulazione microscopica del deflusso veicolare. L'approccio microscopico, infatti, consentendo la simulazione esplicita del movimento di ciascun autoveicolo, ha consentito di tenere esplicitamente conto della interazione puntuale tra i veicoli e di tutti i potenziali punti di conflitto. Tale approccio, inoltre, differentemente dall'approccio macroscopico che prevede che le variabili rappresentative della domanda e dell'offerta siano descritte in forma aggregata, risulta essere particolarmente adatto per le analisi degli impatti circoscritte a livello di sottorete.

Infine va precisato che tutte e le analisi sono state condotte con il supporto di specifiche indagini volte a rilevare le caratteristiche della domanda di mobilità attuale e le caratteristiche geometrico funzionali delle componenti infrastrutturali coinvolte. La presente relazione tecnica si articola in 6 paragrafi:

- nel primo paragrafo si propongono un quadro sintetico dei contenuti del presente documento e delle metodologie adottate;
- nel secondo paragrafo incentrato sull'inquadramento territoriale, propone una descrizione dello scenario trasportistico di riferimento e dello scenario modificato in funzione del tipo di intervento previsto;
- nel terzo paragrafo si riporta la procedura utilizzata per la stima dei flussi di domanda;
- nel quarto paragrafo viene analizzato lo scenario attuale valutando l'impatto del flusso indotto e delle variazioni dei conflitti lungo le infrastrutture ed ai nodi per effetto dell'incremento del flusso indotto ed attratto dai vari interventi elencati;
- nel quinto paragrafo vengono, inoltre, analizzati gli impatti dei flussi al precedente punto proponendo contestualmente uno scenario di viabilità alternativa; in quest'ultimo caso sono state valutati due ulteriori scenari alternative ossia in presenza ed in assenza dei parcheggi lungo via nuova provinciale Chiunzi ed in presenza ed in assenza della delocalizzazione del parcheggio del terminal bus;
- nel sesto paragrafo vengono sintetizzati e discussi i risultati della intera analisi;
- nel settimo paragrafo viene proposta una sintesi dei risultati e delle conclusioni dello studio.

2 Inquadramento del problema

Come già anticipato nell'introduzione, il presente studio focalizza sulla analisi dell'impatto di un serie di interventi che riguardano la riqualificazione del territorio e la valorizzazione del territorio in termini di destinazione d'uso e realizzazione di attrezzature e servizi nella zona di Vecite e Demanio, e lungo la direttrice di via Provinciale Chiunzi. Quest'ultima è dunque il fulcro delle analisi ed essa stessa viene identificata come area di studio così come evidenziata in Fig. 1.

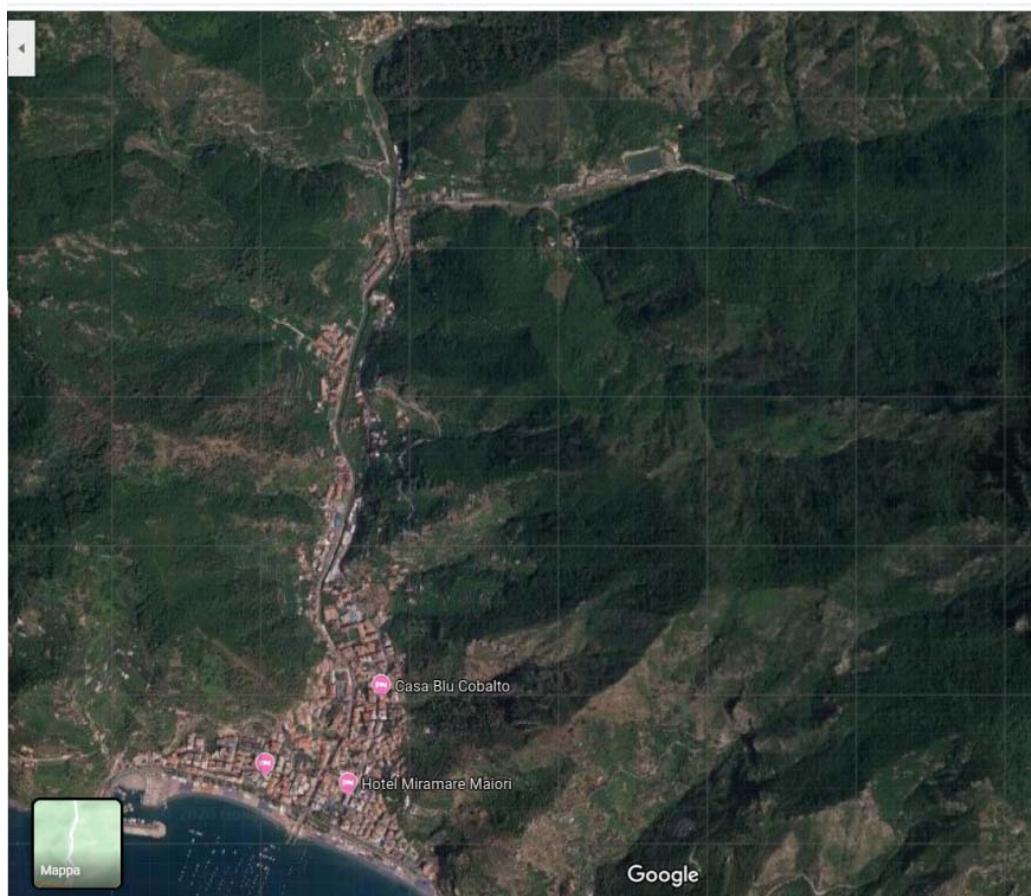


Fig. 1 - Inquadramento territoriale dell'area oggetto di studio.

Gli interventi previsti a valle del presente studio sono finalizzati a mitigare alcuni impatti significativi quali: l'incidenza sui conflitti al nodo di confluenza a sud fra via Nuova Provinciale Chiunzi e la statale Amalfitana (vedi Fig. 2) con conseguente rigurgito delle code di veicoli lungo le due arterie, l'incremento di congestione lungo via nuova Provinciale Chiunzi che già allo stato attuale risulta essere una infrastruttura a ridotta capacità con ulteriore impatto della sosta laterale, la riduzione di capacità lungo via Provinciale Chiunzi per effetto della immissione dei due parcheggi previsti (vedi Fig. 3) e della successiva immissione relativa al parcheggio esistente su via Chiunzi, al di sotto del borgo Castello (vedi Fig. 4), il generarsi di una nuova area di congestione a nord che raccoglie gli interventi nella frazione Vecite e lungo via Demanio (vedi Fig. 5).



Fig. 2 – Nodo di confluenza fra Via Nuova Provinciale Chiunzi e la statale Amalfitana



Fig. 3 – Localizzazione dei Parcheggi lungo via Nuova Provinciale Chiunzi

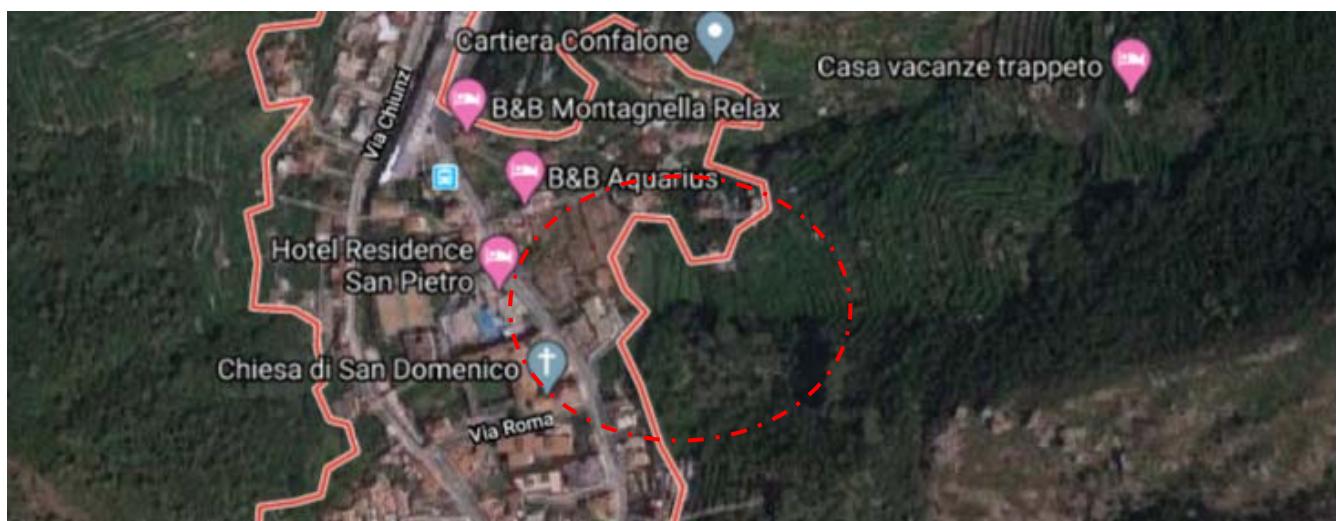


Fig. 4 – Localizzazione del parcheggio su via Chiunzi, al di sotto del borgo Castello

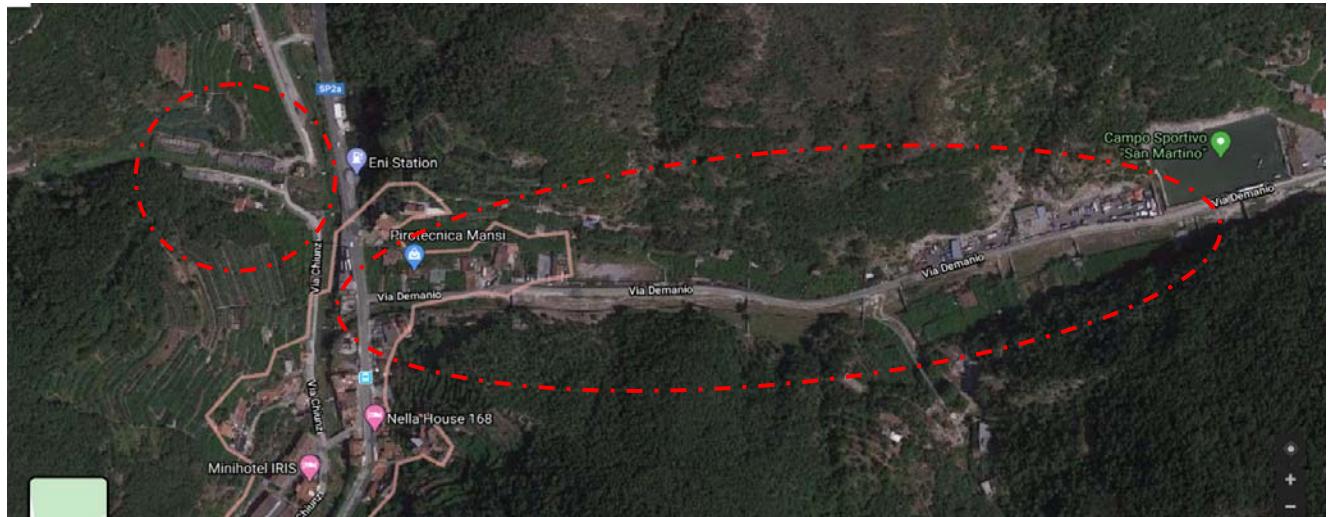


Fig. 5 – Localizzazione degli interventi di frazione Vecite e lungo via Demanio

Fatte queste premesse, al fine della analisi degli impatti è stato necessario adottare un approccio del tipo descrittivo ossia basato sulla simulazione. A partire, dunque, dalla analisi dello scenario attuale in termini di flussi veicolari e dalla proiezione dello stesso in termini di flussi indotti dagli interventi, l'approccio perseguito ha consentito di identificare, attraverso l'implementazione dello scenario di intervento, una serie di soluzioni atte a mitigare l'impatto in termini di congestione delle proiezioni dell'incremento del flusso di domanda.

2.1 Scenario attuale

L'analisi dello scenario attuale è stata articolata in maniera tale da riprodurre in ambiente di simulazione lo stato attuale in termini di offerta di trasporto ossia di infrastrutture e dunque di viabilità, flussi di domanda di spostamento ed interazione fra domanda di spostamento e offerta di trasporto.

La costruzione dello scenario attuale ha richiesto:

- 1) il rilievo della configurazione e delle caratteristiche geometrico-funzionali della rete stradale previa:
 - a. descrizione della rete di accesso, con riferimento alle diverse articolazioni della rete viaria;
 - b. misurazione/rilievo delle caratteristiche geometriche (lunghezza e larghezza) e funzionali (larghezza, capacità, disturbi laterali) della rete stradale;
 - c. l'attuale regolamentazione della circolazione (sensi unici, semafori, etc.);
- 2) la implementazione del modello di offerta funzionale alla simulazione microscopica del

deflusso veicolare;

- 3) la stima dei flussi di domanda di spostamento.

Per quanto concerne la attuale stima dei flussi di domanda, come di seguito descritto in maggiore dettaglio, non è stato possibile perseguire un approccio da modello, è stata bensì adottata una tecnica di stima diretta a partire dai conteggi dei flussi veicolari. In particolare, identificata l'area di studio, il rilievo dei flussi veicolari è stato prevalentemente concentrato al nodo di confluenza fra la statale Amalfitana e via Nuova provinciale Chiunzi.

2.2 Scenario di intervento

Gli scenari di simulazione alternativi sono stati definiti con l'obiettivo di riprodurre l'impatto degli interventi proposti all'interno del documento di piano (P.U.C.). In particolare è opportuno evidenziare che una delle priorità identificate coerentemente con la progressiva introduzione degli interventi, a riguardo l'incremento delle aree tre aree di parcheggio così come identificate nella area oggetto dello studio. Tale priorità è stata maturata in coerenza con l'intervento tattico di incrementare la capacità lungo diverse infrastrutture rimuovendo la sosta laterale; ne consegue dunque la necessità di definire poli alternativi a supporto della sosta.

In sintesi è stato possibile identificare tre scenari di simulazione (oltre alla simulazione dello scenario attuale):

- lo scenario attuale, necessario ad acquisire la conoscenza dello stato di fatto della rete oggetto dello studio;
- futuro, ma finalizzato semplicemente a verificare l'impatto degli interventi previsti dal documento di piano;
- futuro, prevedendo interventi sulla viabilità finalizzati a mitigare l'impatto in termini di congestione degli interventi proposti all'interno del documento di piano; quest'ultimo è stato poi analizzato con tre diversi profili di domanda con la finalità di evidenziare concretamente l'impatto di ciascuna aliquota di flusso:
 - tenendo conto delle sole aree P.I.P. e dei VV.FF;
 - tenendo conto delle sole aree P.I.P. e dei VV.FF ed in aggiunta dei nuovi parcheggi /di potenziamenti di parcheggi esistenti;
 - tenendo conto delle sole aree P.I.P. e dei VV.FF, dei nuovi parcheggi /di potenziamenti di parcheggi esistenti ed in aggiunta del dislocamento del terminal bus.

3 Stima del flusso di domanda

In questa sezione viene discussa la procedura eseguita al fine di stimare i flussi indotti dai vari interventi previsti all'interno del documento di piano. In particolare, la stima dei flussi di domanda ha richiesto la ripartizione della stessa in più aliquote come di seguito descritte:

- flussi in riferimento allo scenario trasportistico attuale, con la diversa caratterizzazione per il giorno feriale e festivo;
- flussi indotti dall'area P.I.P. in località Vecite a prevalente destinazione d'uso agricola-alimentare e dall'area P.I.P. in località Demanio a prevalente destinazione d'uso commerciale e artigianale;
- traffico potenziale indotto, incluso l'effetto del tasso di rotazione, in riferimento ai quattro parcheggi rispettivamente in località Demanio, in corrispondenza dell'Istituto tecnico in via nuova Chiunzi, in corrispondenza del plesso scolastico di via Chiunzi di Maiori ed al di sotto del borgo Castello;
- flusso dovuto al distaccamento dei VV. FF. in via Demanio;
- flusso indotto dal dislocamento del terminal bus.

Ciascuna di queste aliquote viene di seguito analizzata e descritta nel dettaglio.

3.1 Stima del flusso di domanda attuale

Come già anticipato nell'introduzione al presente documento, al fine di effettuare la analisi degli impatti degli interventi proposti, viene adottato un approccio di simulazione microscopica. Tale tipo di simulazione prevede che siano noti in maniera più dettagliata sia i percorsi veicolari che la composizione dei flussi stessi. In tal senso non è stato possibile perseguire un approccio basato sulla stima da modello ma bensì è stato necessario predisporre un'indagine “ad hoc”. Tale indagine è stata funzionale a stimare l'entità dei flussi veicolari, la classificazione dei flussi stessi e, in corrispondenza di ciascuna intersezione, le percentuali di svolta.

Le suddette informazioni, unite alla stima dei flussi entranti e uscenti, consentono una completa conoscenza della configurazione della domanda di spostamento all'interno dell'area oggetto dello studio. In particolare è stato necessario ricostruire due scenari: feriale e festivo.

Per quanto ha riguardato l'indagine, sono stati effettuati opportuni conteggi di traffico realizzati attraverso rilievo manuali con contatori nelle sezioni evidenziate in Fig. 6. Per completezza una rappresentazione schematica della tavola di conteggio utilizzata per i rilievi di traffico è riportata in Fig. 7. I rilievi sono stati effettuati su tre sezioni di conteggio nei giorni feriali 29/10/2019 e 30/10/2019 e nei festivi tra il 26/10/2019 e il 27/10/2019 nelle fasce orarie comprese tra le 8:30 e le 20:00. Per ciascuna sezione sono state identificate le possibili manovre di attraversamento/svolta (così come

riportato in Fig. 8, 9, 10), per ognuna delle quali sono stati rilevati i flussi di veicoli relativamente alle seguenti categorie: auto; bus e mezzi pesanti; moto.

E' opportuno precisare che il monitoraggio dei flussi di traffico è stato localizzato al solo nodo di seguito quale punto nevralgico della sottorete oggetto dello studio, già affetta da accentuati fenomeni di congestione. Infatti, tale nodo costituisce il punto di concentrazione di diverse manovre in conflitto ed inoltre ad esso convergono infrastrutture a ridotta capacità per effetto della costante presenza di sosta laterale.



Fig. 6 localizzazione delle sezioni di conteggio

POSTAZIONE 1

Giorno 1 – sabato _____



Ora	Minuti	MANOVRA						EVENTUALI NOTE
		A			B			
		Auto	Moto	MP	Auto	Moto	MP	
8:30/9:30	15							
	30							
	45							
	60							
9:30/10:30	15							
	30							
	45							
	60							
10:30/11:30	15							
	30							
	45							
	60							
11:30/12:30	15							
	30							
	45							
	60							
12:30/13:30	15							
	30							
	45							
	60							
13:30/14:30	15							
	30							
	45							
	60							
14:30/15:30	15							
	30							
	45							
	60							

Fig. 7 Struttura schematica delle schede di conteggio

Di seguito vengono inoltre riportate nel dettaglio le manovre esplose per ciascun accesso.



Fig. 8 Esplosione delle manovre in Sezione 1



Fig. 9 Esplosione delle manovre in Sezione 2



Fig. 10 Esplosione delle manovre in Sezione 3

I dati di traffico raccolti sono stati quindi successivamente omogeneizzati con opportuni coefficienti di equivalenza, ossia definiti

f_a , il flusso equivalente riferito ai veicoli dell'arco a;

w_i , il coefficiente di omogeneizzazione degli utenti della classe i, quest'ultimo classificato come di seguito a seconda della diversa categoria di veicolo,

- $w_i = 1$ per le automobili;
- $w_i = 1,3$ per i veicoli commerciali;
- $w_i = 1,75$ per i bus e i veicoli pesanti;
- $w_i = 0,5$ per le moto.

la formula adotta per la omogeneizzazione è stata la seguente:

$$f_a = \sum w_i f^i$$

In questo modo sono state ottenute due sole categorie di veicoli da inserire nel modello di microsimulazione, ovvero: “Auto” [= automobili + moto] e “Mezzi Pesanti” [= veicoli commerciali + bus + veicoli pesanti].

E’ opportuno, inoltre, precisare che il flusso da utilizzare per il progetto o la verifica, relativo ad un intervallo di durata ΔT , deve essere corretto, tenendo conto di eventuali punte di traffico nell’ora, in quanto in genere il flusso non è uniforme. Si utilizza, pertanto, il fattore dell’ora di punta, PHF_k , relativo al flusso di ciascun accesso k :

$$(q_{k,0-15} + q_{k,15-30} + q_{k,30-45} + q_{k,45-60}) / (4 \max(q_{k,0-15}; q_{k,15-30}; q_{k,30-45}; q_{k,45-60}))$$

Il flusso q_k da utilizzare per il progetto è quello rilevato in un’ora diviso il fattore dell’ora di punta come di seguito indicato

$$q_k = (q_{k,0-15} + q_{k,15-30} + q_{k,30-45} + q_{k,45-60}) / PHF_k = 4 \max(q_{k,0-15}; q_{k,15-30}; q_{k,30-45}; q_{k,45-60})$$

Poiché i conteggi non sono stati realizzati in una determinata ora, che si presupponga essere di punta, ma riguardano l’intera giornata, è necessario individuare per entrambi gli scenari l’intervallo orario di maggiore criticità (*peak hour*) della giornata. In aggiunta, per entrambi gli scenari, i conteggi sono stati realizzati in due giorni differenti al fine di consolidarne la affidabilità. Pertanto dalla analisi di tali flussi è stato possibile identificare quelle che sono le rispettive punte; in particolare per quanto concerne le analisi del giorno feriale la fascia oraria di maggiore criticità risulta essere fra le 9.30 e le 10.30 del mattino, mentre per quanto concerne le analisi relative ai giorni festivi la fascia oraria di maggior criticità corrisponde all’intervallo fra le 11.30 e le 12.30¹. Tuttavia, al fine della simulazione, si è scelto di perseguire un criterio semplificativo ma allo stesso tempo molto cautelativo, il quale restituisce la combinazione di flussi più gravosa. In sostanza non è stato individuato un unico intervallo orario, che fosse lo stesso per la singola coppia di giorni e per tutte le manovre, dal quale ottenere i flussi corrispondenti, ma al contrario per ogni manovra è stato individuato il massimo flusso orario registrato all’interno dei due giorni relativi allo specifico scenario. In questo modo ad ogni manovra viene associato un intervallo orario di punta e la combinazione dei flussi corrispondenti fornisce il massimo flusso orario possibile nell’intera rete. Noto quindi il fattore di punta e i massimi flussi relativi a ciascuna manovra è stata ottenuta la portata di verifica e le percentuali di svolta per entrambi gli scenari (Tab. 1, 2, 3, 4).

¹ La identificazione di queste fasce orarie di punta ha consentito di escludere dallo studio alcune aliquote come ad esempio l’indotto dell’impianto pubblico polifunzionale in località Demanio, o l’impatto degli addetti delle attività che andranno ad insediarsi nelle aree P.I.P.

Tab. 1 - Portate di verifica e percentuali di svolta nello Scenario Infrasettimanale - Auto

Sezione	Manovra	Da	A	Portata di verifica [veic/h]	% svolta
1	A	Via Nuova Chiunzi	SS163	109	25
	B	Via Nuova Chiunzi	Via Giovanni Amendola	324	75
2	C	SS163	Via Nuova Chiunzi	91	32
	D	SS163	Via Giovanni Amendola	197	68
3	E	Via Giovanni Amendola	Via Nuova Chiunzi	328	61
	F	Via Giovanni Amendola	SS163	209	39

Tab. 2 - Portate di verifica e percentuali di svolta nello Scenario Infrasettimanale – Mezi Pesanti

Sezione	Manovra	Da	A	Portata di verifica [veic/h]	% svolta
1	A	Via Nuova Chiunzi	SS163	20	39
	B	Via Nuova Chiunzi	Via Giovanni Amendola	31	61
2	C	SS163	Via Nuova Chiunzi	22	59
	D	SS163	Via Giovanni Amendola	15	41
3	E	Via Giovanni Amendola	Via Nuova Chiunzi	16	47
	F	Via Giovanni Amendola	SS163	18	53

Tab. 3 - Portate di verifica e percentuali di svolta nello Scenario week end - Auto

Sezione	Manovra	Da	A	Portata di verifica [veic/h]	% svolta
1	A	Via Nuova Chiunzi	SS163	86	23
	B	Via Nuova Chiunzi	Via Giovanni Amendola	287	77
2	C	SS163	Via Nuova Chiunzi	111	21
	D	SS163	Via Giovanni Amendola	416	79
3	E	Via Giovanni Amendola	Via Nuova Chiunzi	306	44
	F	Via Giovanni Amendola	SS163	382	56

Tab. 4 - Portate di verifica e percentuali di svolta nello Scenario week end – Mezzi Pesanti

Sezione	Manovra	Da	A	Portata di verifica [veic/h]	% svolta
1	A	Via Nuova Chiunzi	SS163	8	44
	B	Via Nuova Chiunzi	Via Giovanni Amendola	10	56
2	C	SS163	Via Nuova Chiunzi	8	44
	D	SS163	Via Giovanni Amendola	10	56
3	E	Via Giovanni Amendola	Via Nuova Chiunzi	10	59
	F	Via Giovanni Amendola	SS163	7	41

Tali flussi sono stati quindi utilizzati per definire il livello di domanda ordinario da utilizzare nelle simulazioni dello scenario attuale e dello scenario di intervento. Gli stessi flussi sono stati incrementati per poter simulare gli scenari di intervento, come descritto in precedenza e discusso in maggiore dettaglio nelle sezioni successive.

3.2 Stima dei flussi indotti da nuovi interventi

In generale è opportuno evidenziare che le aree P.I.P. nonché il potenziamento/realizzazione di parcheggi inducono il generarsi di nuove aliquote di flusso; nei seguenti paragrafi viene descritta la metodologia adottata ai fini della stima di tale flusso. Inoltre, è conseguentemente necessario definire il bacino di utenza per potere associare tali flussi di domanda ad opportune origini/destinazioni dello spostamento.

Di seguito, dunque, vi sono due paragrafi rispettivamente dedicati alla stima dei flussi indotti dalle aree P.I.P. e dai parcheggi, dunque viene esposto il criterio adottato al fine della ripartizione di tali flussi.

3.2.1 Stima dei flussi di domanda indotti dalle aree P.I.P.

Lo scenario di progetto tiene conto della ricettività indotta dal nuovo attrattore, costituita dalle strutture che dovrebbero insediarsi con diversa destinazione d'uso nelle due aree P.I.P. rispettivamente in zona Demanio ed in zona Vecite.

Le due strutture contano rispettivamente una estensione in termini di superficie utile coperta da 2000 a 4000 mq, e da 3960 a 7920 mq. E' chiaro che la verifica trasportistica sarà proprio finalizzata ad

incorporare e dunque dimensionare coerentemente la superficie utile coperta a partire dall'impatto del traffico veicolare indotto. Infatti le strutture danno origine a spostamenti e ad una ridistribuzione dei flussi di traffico nel bacino territoriale limitrofo, per cui lo scenario di progetto si compone dei flussi attuali e dei flussi indotti conseguentemente all'apertura delle attività.

La determinazione del traffico indotto viene effettuata secondo parametri che forniscono l'incidenza del flusso veicolare riferito all'unità di superficie di vendita dall'attrattore in funzione della sua tipologia. Tali stime parametriche sono rilevabili da varie linee guida (vedi *"Disposizioni attuative finalizzate alla valutazione delle istanze per l'autorizzazione all'apertura o alla modificazione delle grandi strutture di vendita conseguenti alla D.C.R. 12 Novembre 2013 n. x/187 "nuove linee per lo sviluppo delle imprese del settore commerciale"*); si può assumere che per l'insediamento a destinazione d'uso agricolo – alimentare previsto in località Vecite si possa applicare un coefficiente di traffico generato all'ora di punta e nel giorno di maggior affluenza (Sabato) variabile fra 0,3 e 0,05 veic/mq della superficie di vendita; per quanto concerne invece per l'insediamento a destinazione d'uso commerciale – artigianale previsto in località Demanio si ritiene si possa applicare un coefficiente di traffico generato all'ora di punta e nel giorno di maggior affluenza (Sabato) variabile fra 0,18 e 0,14 veic/mq della superficie di vendita.

Di seguito vengono riportate le griglie di riferimento per ciascuno dei due diversi insediamenti e nei diversi giorni della settimana.

Tab. 5.1 – Veicoli attratti ed emessi ogni mq di superficie di vendita alimentare

Superficie di vendita alimentare [mq]	Veicoli ogni mq di superficie di vendita alimentare			
	Venerdì (1)	Venerdì (2)	Sabato-Domenica (1)	Sabato-Domenica (2)
0 - 3.000	0,25	0,20	0,30	0,25
3.000 - 6.000	0,12	0,10	0,17	0,14
> 6.000	0,04	0,03	0,05	0,03

Tab. 5.2 - Veicoli attratti ed emessi ogni mq di superficie di vendita non alimentare

Superficie di vendita non alimentare [mq]	Veicoli ogni mq di superficie di vendita non alimentare			
	Venerdì (1)	Venerdì (2)	Sabato-Domenica (1)	Sabato-Domenica (2)
0 - 5.000	0,10	0,09	0,18	0,15
5.000 - 12.000	0,08	0,06	0,14	0,12
> 12.000	0,05	0,04	0,06	0,04

3.2.2 Stima dei flussi relativi alla realizzazione/potenziamento di parcheggi

Questa sezione è finalizzata a descrivere la procedura per la stima del traffico potenziale indotto in riferimento ai quattro parcheggi rispettivamente in località Demanio, in corrispondenza dell'Istituto tecnico in via nuova Chiunzi, in corrispondenza delle attrezzature scolastiche in direzione di salita lungo via Nuova Chiunzi ed in via Chiunzi, al di sotto del borgo Castello.

Per potere calcolare il traffico potenziale indotto dai quattro parcheggi è necessario definire prima di tutto

un certo tasso di rotazione; il tasso di rotazione consente infatti di descrivere la possibilità che un generico stallo possa ospitare una o più persone nell'arco temporale considerato. E' stato considerato un tasso medio di rotazione pari a 0.33 (la durata media dello stallo è stata posta appunto pari a circa 3 ore). Inoltre, per quanto concerne la percentuale di occupazione essa è stata posta pari al 100%.

Poste le precedenti considerazioni, si stima una attrazione potenziale indotta dall'insediamento dei tre parcheggi come di seguito descritto:

- parcheggio in via Demanio (circa 80 stalli): il numero di veicoli indotti è posto pari a 27 veic/h;
- parcheggio in corrispondenza dell'Istituto Tecnico lungo via provinciale Chiunzi (circa 64 stalli): il numero di veicoli indotti è posto pari a 21 veic/h;
- parcheggio in corrispondenza delle attrezzature scolastiche in direzione di salita di via Nuova Chiunzi (circa 40 stalli): il numero di veicoli indotti è posto pari a 13 veic/h;
- parcheggio esistente su via Chiunzi, al di sotto del borgo Castello (circa 140 stalli, di cui il 60% a rotazione): il numero di veicoli indotti è posto pari a 28 veic/h.

In aggiunta per quanto concerne il parcheggio di via Demanio per esso è immaginata la predisposizione di un servizio di navette elettriche a supporto; in tal senso ed in riferimento ad un coefficiente di riempimento dei veicoli attratti pari ad 1.3, per un numero di persone pari ad 81 passeggeri si immagina una numero orario di navette (avendo supporto che il servizio sia erogato mediante navette con 14 posti) pari a circa 6 veic/h. Tale valore è stato considerato quale flusso aggiuntivo orario.

3.2.3 Definizione del bacino di utenza e ripartizione dei flussi

Una volta acquisite le singole aliquote di flusso, così come sopra descritte, è stato necessario provvedere alla ripartizione delle stesse in relazione al bacino di utenza. Nella fattispecie, si è ritenuto opportuno identificare il bacino di utenza con l'area circoscritta nel raggio di 20/30 minuti dall'area di intervento.

Successivamente si è provveduto alla ripartizione tenendo conto della effettiva accessibilità del territorio data la complessa configurazione orografica dello stesso, assegnando il 20% agli spostamenti da e verso Tramonti, l'80% dagli spostamenti da e verso sud; quest'ultima aliquota è stata dunque ripartita assegnando il 50% degli spostamenti da e verso Amalfi ed infine il 30% degli spostamenti da e verso Salerno.

3.3 Stima dei flussi relativi al distaccamento dei VV.FF.

Per quanto concerne questa aliquota di flusso, essa è stata ricavata a partire dal numero di interventi

giornalieri nei periodi di punta pari a 5 - 7 veicoli/giorno.

3.4 Stima dei flussi relativi al dislocamento del terminal bus

La stima di questi flussi è stata effettuata a partire dalla identificazione di quelle che sono le linee da e verso Amalfi e dunque dal conseguente dislocamento del terminal in località Demanio.

In particolare, la analisi è stata condotta tenendo conto delle corse che per ciascuna linea concorrono nei periodi di punta così come precedentemente identificati nei giorni feriale e festivo.

Le linee analizzate sono state analizzate chiaramente sia per l'andata (A) che per il ritorno (R); inoltre, le analisi sono state condotte considerando la sovrapposizione del piano di esercizio con le fasce orarie di punta del giorno feriale [9.30 – 10.30] e del giorno festivo [11.30 – 12.30].

I flussi considerati per ciascuna linea sono di seguito dettagliati:

Tab. 6 – linea Amalfi – Positano – Sorrento

	feriale	festivo
A	1	2
R	1	2

Tab. 7 - linea Amalfi – Maiori – Salerno

	feriale	festivo
A	1	1
R	1	1

Tab. 8 - linea Scala – Ravello – Amalfi

	feriale	festivo
A	3	1
R	3	1

Tab. 9 - linea Amalfi – Pogerola

	feriale	festivo
A	1	1
R	2	1

Tab. 10 - linea Maiori – Tramonti – Nocera – Salerno

	feriale	festivo
A	2	-
R	2	-

E' chiaro che al fine di potere valutare l'impatto dell'intervento che prevede il dislocamento del terminal bus da Amalfi alla zona Demanio è stato necessario, sulla base delle corse attualmente esistenti, estendere i percorsi seguiti dagli autobus in maniera tale da garantire la chiusura del servizio alla sede di stazionamento supposta. **Tuttavia, resta inteso, che un tale intervento, prevenderebbe uno studio più complesso ed articolato che compete alla azienda stessa finalizzato a ridefinire il piano di esercizio del servizio di trasporto collettivo.**

4 Analisi degli impatti: scenari di simulazione

Al fine di studiare l'impatto dell'intervento proposto, è stata implementata la direttrice principale di via nuova Chiunzi in ambiente microscopico. In particolare l'area considerata va dalla frazione Vecite, in prossimità di via Demanio alla intersezione a regole di priorità in corrispondenza della statale amalfitana. Sono stati, inoltre, analizzati in tutto sei scenari come di seguito dettagliati:

- Scenario attuale, necessario a calibrare e validare il modello di microsimulazione oltre che ad acquisire la conoscenza dello stato attuale della rete;
- Scenario futuro, senza studiare mediante approccio descrittivo (ossia basato su simulazione) soluzioni alternative sulla viabilità esistente ed inoltre esso è finalizzato semplicemente a verificare l'impatto degli interventi previsti dal documento di piano; **gli interventi considerati hanno incluso l'impatto dell'area P. I. P. in Vecite, la delocalizzazione dei VV. FF. in via Demanio, del parcheggio in via Demanio ed infine dei parcheggi lungo via nuova provinciale Chiunzi e del parcheggio al di sotto del borgo Castello;**
- Scenario futuro, prevedendo interventi sulla viabilità finalizzati a mitigare l'impatto in termini di congestione degli interventi proposti all'interno del documento di piano; questo scenario è stato studiato
 - tenendo conto del solo flusso indotto dall'area P.I.P. di Vecite, dai VV. FF. e dal parcheggio in via Demanio;
 - tenendo conto del solo flusso indotto dall'area P.I.P. di Vecite, dai VV. FF., dal parcheggio in via Demanio ed infine dal flusso indotto dai parcheggi in via nuova Chiunzi;
 - tenendo conto del solo flusso indotto dall'area P.I.P. di Vecite, dai VV. FF., dal parcheggio in via Demanio, dal flusso indotto dai parcheggi in via nuova Chiunzi ed infine dal dislocamento del terminal bus.

Per completezza, per ciascuno di essi è stata effettuata la analisi in riferimento allo scenario di flussi feriale e quello festivo per un totale appunto di sei scenari.

4.1 Scenario attuale

All'interno di questo paragrafo vengono riportati i risultati ottenuti dallo studio della rete precedentemente descritta in riferimento allo scenario attuale. Tale studio è stato condotto all'interno di un ambiente di microsimulazione, opportunamente calibrato mediante indicatori aggregati di *Goodness of fit* (MAE - *Mean Absolute Error*, RMSE - *Root Mean Squared Error*), con cui è stato possibile

confrontare i valori di alcuni dei dati raccolti tramite misura diretta sul campo con i corrispondenti valori ottenuti dal modello utilizzato (funzione di alcuni parametri che incidono sul comportamento di guida degli utenti). Ai fini della validazione del modello si è considerato come indicatore di riferimento la lunghezza della coda. In Appendice A si riportano ulteriori approfondimenti sulle procedure utilizzate nel processo di calibrazione e validazione del modello.

I modelli di micro-simulazione rappresentano un valido strumento a disposizione dei tecnici e dei decisori nel settore dei trasporti per la valutazione degli effetti di scelte progettuali alternative. Tali modelli consentono, in modo particolare, analisi di dettaglio delle soluzioni pianificate a livello locale. Il modello di micro simulazione del traffico riproduce il comportamento di ogni veicolo che utilizza la rete di trasporto stradale con la propria origine e destinazione e le caratteristiche cinematiche proprie del tipo di veicolo, riprodotte in modo coerente alle informazioni disponibili. Il comportamento di ogni singolo veicolo viene simulato, istante per istante, sulla base di modelli decisionali di tipo comportamentale (noti con il nome di *car following*) che stabiliscono di volta in volta il cambio di corsia, regolano la distanza dal veicolo che precede, l'immissione nelle corsie di accelerazione e decelerazione, ecc. Ad ogni veicolo sono associate caratteristiche fisiche, geometriche, funzionali e comportamentali secondo valori medi, facendoli variare nei singoli casi intorno a tali valori medi in modo da riprodurre le reali condizioni di non uniformità del parco veicolare e dei comportamenti dei conducenti.

Nelle seguenti figure viene proposto il risultato della astrazione in ambiente di microsimulazione facendo riferimento alla duplice visualizzazione in 2D e 3D (vedi Fig. 11,12 e 13).



Fig. 11 – Dettaglio dell'implementazione dell'area di studio in ambiente di microsimulazione (visualizzazione 2D).

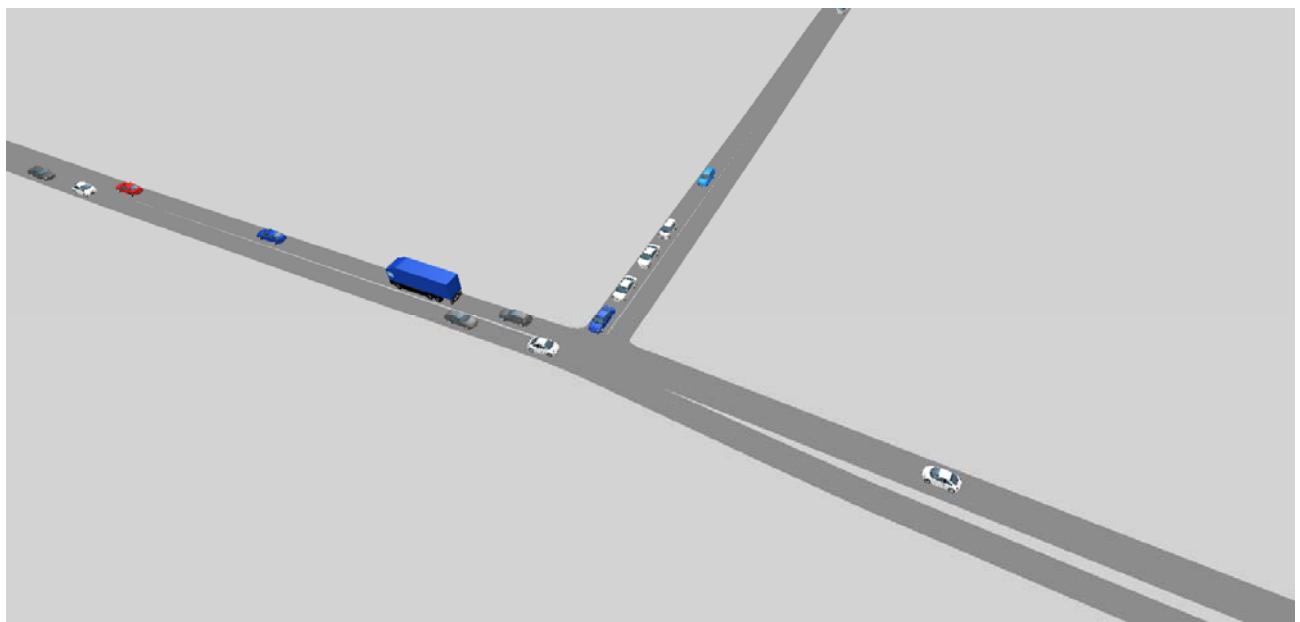


Fig.12 - Implementazione dell'area di studio in ambiente di microsimulazione (visualizzazione 3D).



Fig.13 – Veduta di insieme dell'implementazione dell'area di studio in ambiente di microsimulazione (visualizzazione 2D).

Inoltre, i risultati ottenuti per ciascuno dei cinque scenari, sono di seguito sintetizzati facendo
24

riferimento a ciascuno dei singoli nodi della rete analizzati preliminarmente descritti in riferimento alle singole immagini (vedi figure 14 – 19).



Fig.14 – localizzazione e rappresentazione con esplosione delle manovre del nodo 1



Fig.15 – localizzazione e rappresentazione con esplosione delle manovre del nodo 2



Fig.16 - localizzazione e rappresentazione con esplosione delle manovre del nodo 3



Fig.17 - localizzazione e rappresentazione con esplosione delle manovre del nodo 4

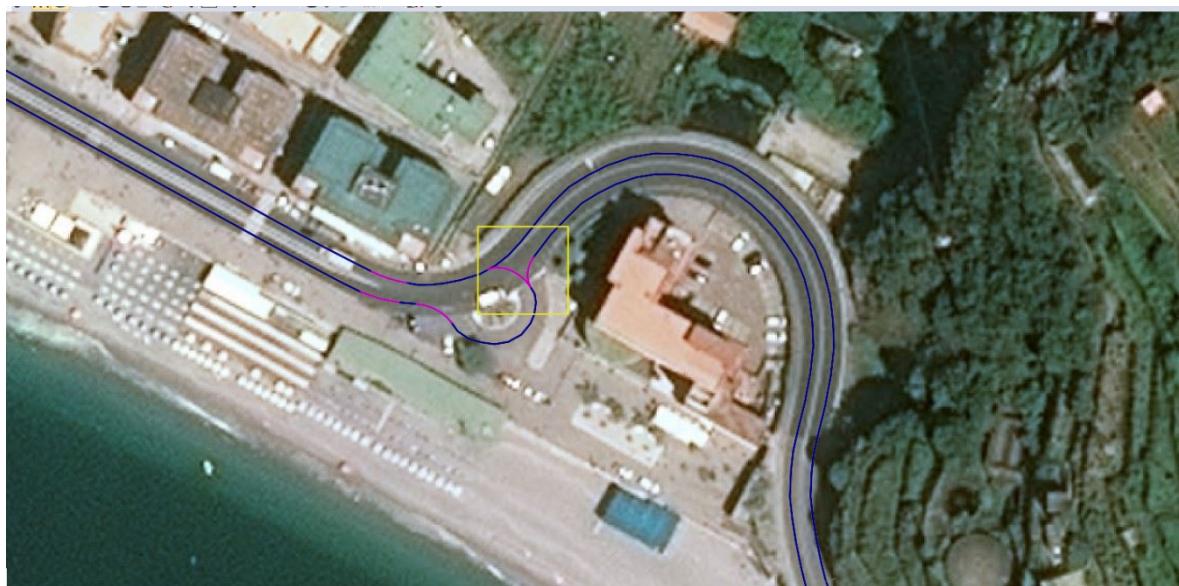


Fig.18 - localizzazione e rappresentazione con esplosione delle manovre del nodo 5



Fig.19 - localizzazione e rappresentazione con esplosione delle manovre del nodo 6

E' opportuno altresì precisare che i risultati ottenuti sono stati riportati in forma aggregata ossia non per sottointervallo di simulazione (ad esempio 15 minuti) bensì in riferimento all'ora di simulazione ed in riferimento ad i singoli nodi per ciascuno scenario di simulazione.

Ai fini dell'interpretazione sintetica sono stati adottati due indicatori ossia il valore di coda media ed il valore di coda massima. Tale indicatore viene elaborato non in relazione al ritardo dei veicoli secondo la formulazione teorica, bensì esso viene acquisito direttamente dalla simulazione tenendo conto di due

indicatori di riferimento quali la velocità dei veicoli ed il distanziamento degli stessi per i quali vengono fissati dei valori di riferimento; in particolare quando emerge che il normale comportamento dei veicoli in termini di velocità e/o distanziamento è al di sotto delle soglie prescritte (opportunamente calibrate per il caso in esame) dunque i vicoli sono automaticamente ritenuti in coda. All'interno del presente studio il valore di velocità limite è posto fra i 5 ed i 10 km/h, mentre il valore di distanziamento è posto pari a 15 m. Infine, in Appendice B, si riportano ulteriori approfondimenti sugli indicatori di output utilizzati per la valutazione dei vari scenari di simulazione.

Tutti i rapporti numerici sono stati calcolati nell'intervallo di simulazione da 300 a 3900 secondi, escludendo l'intervallo iniziale (0-300 sec) perché non rappresentativo. Esso viene infatti considerato come intervallo di precarico della rete (trattasi di una sorta di periodo di *warm up* opportunamente calibrato) con la finalità di supportare il realismo della simulazione.

Tab. 11 – Risultati dello scenario attuale relativi al nodo 1

NODO 1	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale		festivo	
SS163	0	0	0	0
Via Nuova Chiunzi	15	104	30	152
Via Giovanni Amendola	3	68	8	98

4.2 Scenario futuro senza interventi escluso l'impatto del dislocamento del terminal bus

In questa sezione vengono riportati i risultati relativi allo scenario futuro in termini di proiezioni dei flussi di traffico mantenendo tuttavia l'assetto della viabilità invariato.

In particolare si è tenuto conto dell'impatto dell'area P.I.P. in Vecite, del distaccamento dei VV. FF. in via Demanio, della presenza del parcheggio in via Demanio e dei parcheggi lungo via nuova Chiunzi uno in corrispondenza dell'Istituto tecnico l'altro in corrispondenza di piazza mercato.

I risultati in Tab 12 evidenziano subito il significativo incremento di coda rispetto allo scenario attuale sia lungo SS163 che Via Giovanni Amendola.

Ne conseguono alcune indicazioni di seguito elencate:

- E' necessario dovere contrarre le aree P.I.P ad una sola area P.I.P ed in particolare a quella localizzata in Vecite evitando che si generi una sovrapposizione fra il flusso veicolare indotto dal parcheggio e dai VV. FF. con anche quello del P.I.P. previsto in Demanio;
- Il dimensionamento della area P.I.P non potrà essere superiore al valore minimo del range identificato di 3960 mq di s.c. al fine di limitare quanto più possibile l'impatto del flusso indotto.

Tab. 12 - Risultati dello scenario futuro relativi al nodo 1

NODO 1	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
		feriale		festivo
SS163	493	510	505	508
Via Nuova Chiunzi	0	0	13	143
Via Giovanni Amendola	16	137	432	505

Tab. 13 - Risultati dello scenario futuro relativi al nodo 2

NODO 2	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
		feriale		festivo
Via Nuova Chiunzi (salita)	28	255	10	171
Via Nuova Chiunzi (discesa)	0	0	33	61

Tab. 14 -- Risultati dello scenario futuro relativi al nodo 3

NODO 3	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
		feriale		festivo
Via Nuova Chiunzi (salita)	24	274	0	43
Via Nuova Chiunzi (discesa)	42	84	83	84
Via Trapulico	24	35	32	35

Tab. 15 -- Risultati dello scenario futuro relativi al nodo 6

NODO 6	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
		feriale		festivo
Via Nuova Chiunzi (salita)	9	89	0	89
Via Nuova Chiunzi (discesa)	27	136	213	253
Via Demanio	5	24	42	76

I risultati evidenziano che tutti i nodi della sottorete oggetto dello studio sono interessati da un fenomeno di rigurgito delle code ed in particolare è necessario intervenire su via Nuova Chiunzi e lungo la statale amalfitana dove il fenomeno è particolarmente incisivo.

4.3 Scenario futuro con interventi

A partire dai risultati ottenuti nello scenario di non intervento, sono stati introdotti alcuni interventi migliorativi che hanno trovato convergenza nei risultati di seguito riportati.

Gli interventi complessivamente hanno tenuto conto: **della variazione dei sensi di marcia come di**

seguito riportato e della eliminazione della sosta laterale sia su via nuova provinciale Chiunzi che lungo la statale amalfitana. In quest'ultimo caso l'effetto della sosta laterale è stato quello di consentire di raddoppiare la capacità lungo tale infrastruttura separando le manovre in conflitto al nodo a regole di priorità di confluenza fra via nuova Provinciale Chiunzi e la statale Amalfitana. E' opportuno, inoltre, evidenziare che nella riconfigurazione dei sensi di marcia si è ritenuto deviare il flusso veicolare ordinario (ad eccezione dunque di bus e VV.FF. nonché mezzi per il carico scarico delle merci a servizio della prevista area P.I.P. in Vecite) lungo via Cristoforo Colombo altresì è stato necessario separare gli accessi e dunque le manovre di svolta in uscita da corso Reginna; infine, ulteriore riduzione dei conflitti è stata introdotta dalla eliminazione della svolta a sinistra dalla statale amalfitana in direzione di via provinciale Chiunzi che è stata a sua volta sostituita dalla prosecuzione lungo la statale amalfitana con inversione alla rotonda al termine della strada.

Una sintesi degli interventi proposti sulla viabilità viene riportata nella seguente Fig. 20 ed anche in ambiente di microsimulazione in Fig. 21.

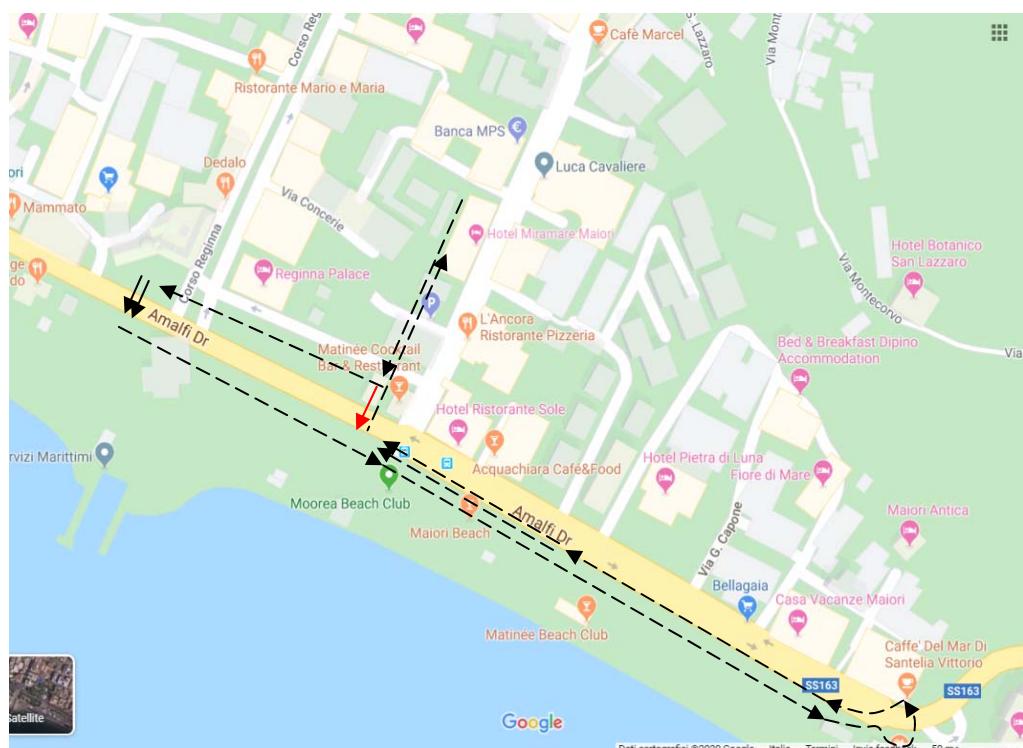


Fig.20 – sintesi degli interventi proposti

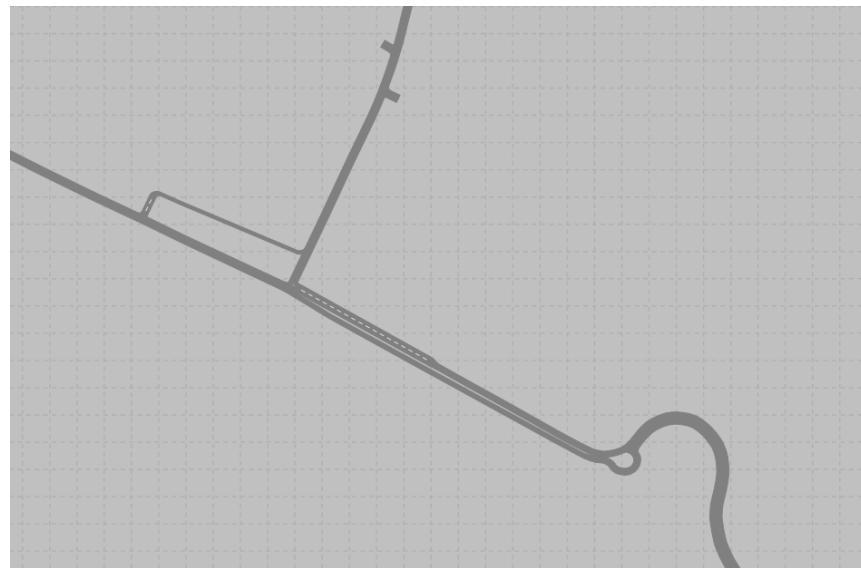


Fig.21 – dettaglio della variazione della configurazione della viabilità in ambiente di microsimulazione

4.3.1 Impatto dell'area P.I.P. in Vecite, del distaccamento dei VV.FF. e del parcheggio in Demanio

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti a ciascun nodo.

Tab. 16 - Risultati dello scenario futuro relativi al nodo 1

NODO 1	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale		festivo	
SS163	0	0	0	0
Via Nuova Chiunzi	0	23	3	103
Via Giovanni Amendola	0	0	0	0

Tab. 17 - Risultati dello scenario futuro relativi al nodo 2

NODO 2	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale		festivo	
Via Nuova Chiunzi (salita)	27	219	16	196
Via Nuova Chiunzi (discesa)	0	0	0	0

Tab. 18 - Risultati dello scenario futuro relativi al nodo 3

NODO 3	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale		festivo	
Via Nuova Chiunzi (salita)	0	54	0	0
Via Nuova Chiunzi (discesa)	0	0	0	0
Via Trapulico	3	36	3	36

Tab. 19 - Risultati dello scenario futuro relativi al nodo 4

NODO 4	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale		festivo	
Via Giovanni Amendola (da Salerno)	0	0	0	0
Via Giovanni Amendola (da Minori)	0	0	0	9
Via Reginna	15	191	12	145

Tab. 20 - Risultati dello scenario futuro relativi al nodo 5

NODO 5	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale		festivo	
SS163	0	0	0	0
Hotel Sole	16	136	120	220

I risultati evidenziamo come lo scenario proposto sia in grado di mitigare tutti i fenomeni di rigurgito delle code determinati dall'incisivo incremento dei flussi. In particolare i nodi ai quali il fenomeno di laminazione si evidenzia maggiormente sono i nodi 1 e 2.

4.3.2 Impatto dell'area P.I.P. in Vecite, del distaccamento dei VV.FF. del parcheggio in Demanio e dei parcheggi in via nuova Chiunzi

Il presente scenario propone dei risultati più o meno invariati tuttavia come di seguito mostrato, si evidenzia, per questioni di sicurezza, la necessità di laminare il flusso di traffico all'ingresso del comune di Maiori, con la finalità di limitare il fenomeno di rigurgito delle code. I risultati sono evidenziati in Tab. 21.

In particolare vengono prescritti

- l'introduzione un dispositivo di trasmissione di informazione all'utenza (pannello a messaggio variabile) con la finalità di impedire ai veicoli di transitare lungo la statale amalfitana ma laminandoli a monte ed invitandoli a parcheggiare all'ingresso del comune di Maiori;
- l'inserimento di un dispositivo semaforico atto a laminare a monte il flusso di traffico evitando il rigurgito di code a valle in prossimità dell'incrocio fra via Amendola e la statale Amalfitana.

Va evidenziato che le prescrizioni vengono introdotte *al fine di soddisfare le esigenze di mobilità in termini di flussi di attraversamento e di ingresso ed uscita dal comune.*

Tab. 21 - Risultati dello futuro attuale relativi al nodo 1

NODO 1	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale		festivo	
SS163	6	202	1	23
Via Nuova Chiunzi	0	0	0	0
Via Giovanni Amendola	0	0	0	0

Tab. 22 - Risultati dello futuro attuale relativi al nodo 2

NODO 2	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale		festivo	
Via Nuova Chiunzi (salita)	38	213	12	166
Via Nuova Chiunzi (discesa)	0	0	0	0

Tab. 23 - Risultati dello futuro attuale relativi al nodo 3

NODO 3	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale		festivo	
Via Nuova Chiunzi (salita)	3	134	0	12
Via Nuova Chiunzi (discesa)	0	15	0	0
Via Trapulico	5	36	4	36

Tab. 24 - Risultati dello futuro attuale relativi al nodo 4

NODO 4	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale		festivo	
Via Giovanni Amendola (da Salerno)	0	0	0	0
Via Giovanni Amendola (da Minori)	0	6	0	0
Via Reginna	15	194	11	141

Tab. 25 - Risultati dello futuro attuale relativi al nodo 5

NODO 5	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale		festivo	
SS163	0	0	0	0
Hotel Sole	30	177	136	287

Tab. 26 - Risultati dello futuro attuale relativi al nodo 6

NODO 6	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale		festivo	
Via Nuova Chiunzi (salita)	0	0	1	82
Via Nuova Chiunzi (discesa)	1	48	0	27
Via Demanio	0	17	0	18

4.3.3 Impatto di tutti i flussi indotti incluso quello relativo al dislocamento del terminal bus

Il presente scenario propone i risultati delle analisi in riferimento all'incremento del flusso indotto con incluso l'impatto del dislocamento del terminal bus da Amalfi alla zona di via Demanio. **Come di seguito riportato i valori numerici ottenuti evidenziano l'incremento di forti criticità in corrispondenza di seguenti nodi: nodo 1 con specifico riferimento a via Amendola e via Chiunzi; nodo 4 con significativo incremento lungo via Reginna; nodo 5, in corrispondenza dell'Hotel Sole con conseguente rigurgito delle code a monte.**

Tab. 27 - Risultati dello futuro attuale relativi al nodo 1

NODO 1	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	Feriale			
SS163	0	0	0	0
Via Nuova Chiunzi	1	94	1	133
Via Giovanni Amendola	0	0	11	122

Tab. 28 - Risultati dello futuro attuale relativi al nodo 2

NODO 2	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale			
Via Nuova Chiunzi (salita)	32	250	9	148
Via Nuova Chiunzi (discesa)	0	0	0	0

Tab. 29 - Risultati dello futuro attuale relativi al nodo 3

NODO 3	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale			
Via Nuova Chiunzi (salita)	7	163	0	5
Via Nuova Chiunzi (discesa)	0	6	0	0
Via Trapulico	6	36	4	36

Tab. 30 - Risultati dello futuro attuale relativi al nodo 4

NODO 4	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale			
Via Giovanni Amendola (da Salerno)	0	0	0	0
Via Giovanni Amendola (da Minori)	0	0	9	145
Via Reginna	20	173	15	221

Tab. 31 - Risultati dello futuro attuale relativi al nodo 5

NODO 5	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale			
SS163	0	0	0	0
Hotel Sole	36	225	187	322

Tab. 32 - Risultati dello futuro attuale relativi al nodo 6

NODO 6	Coda Media [m]	Coda Massima [m]	Coda Media [m]	Coda Massima [m]
	feriale		festivo	
Via Nuova Chiunzi (salita)	0	89	0	89
Via Nuova Chiunzi (discesa)	1	43	0	27
Via Demanio	2	22	1	23

5 Sintesi

Nell'ambito del supporto alla elaborazione del Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.) del Comune di Maiori, il presente studio ha focalizzato sulla analisi di una serie di interventi particolarmente significativi proposti all'interno dello stesso.

E' stata dunque implementata la direttrice principale di via nuova Chiunzi in ambiente microscopico con la finalità di osservare le criticità indotte sul sistema in riferimento al comportamento del singolo veicolo.

In particolare l'area considerata va dalla frazione Vecite, in prossimità di via Demanio alla intersezione a regole di priorità in corrispondenza della statale amalfitana. Sono stati, inoltre, analizzati in tutto cinque scenari come di seguito dettagliati:

- Scenario attuale, necessario a calibrare e validare il modello di microsimulazione oltre che ad acquisire la conoscenza dello stato attuale della rete;
- Scenario futuro, senza studiare mediante approccio descrittivo (ossia basato su simulazione) soluzioni alternative sulla viabilità esistente ed inoltre esso è finalizzato semplicemente a verificare l'impatto degli interventi previsti dal documento di piano; **gli interventi considerati hanno incluso l'impatto dell'area P. I. P. in Vecite, la delocalizzazione dei VV. FF. in via Demanio, il parcheggio in via Demanio ed infine l'adeguamento e la realizzazione dei parcheggi lungo via nuova provinciale Chiunzi;**
- Scenario futuro, prevedendo interventi sulla viabilità finalizzati a mitigare l'impatto in termini di congestione degli interventi proposti all'interno del documento di piano; questo scenario è stato studiato
 - tenendo conto del solo flusso indotto dall'area P.I.P. di Vecite, dai VV. FF. e dal parcheggio in via Demanio;
 - tenendo conto del solo flusso indotto dall'area P.I.P. di Vecite, dai VV. FF., dal parcheggio in via Demanio ed infine dal flusso indotto dai parcheggi in via nuova Chiunzi;
 - tenendo conto del solo flusso indotto dall'area P.I.P. di Vecite, dai VV. FF., dal parcheggio in via Demanio, dal flusso indotto dai parcheggi in via nuova Chiunzi ed infine dal dislocamento del terminal bus.

Per completezza, per ciascuno di essi è stata effettuata la analisi in riferimento allo scenario di flussi feriale e quello festivo per un totale appunto di sei scenari.

Nel primo scenario vengono riportati i risultati relativi allo scenario futuro in termini di proiezioni dei flussi di traffico mantenendo tuttavia l'assetto della viabilità invariato. In particolare si è tenuto conto dell'impatto dell'area P.I.P. in Vecite, del distaccamento dei VV. FF: in via Demanio, della presenza del parcheggio in via Demanio e dei parcheggi lungo via nuova Chiunzi uno in corrispondenza dell'Istituto tecnico l'altro in corrispondenza della Scuola di Musica. **I risultati evidenziano subito il significativo incremento di coda rispetto allo scenario attuale sia lungo SS163 che Via Giovanni Amendola.** Ne conseguono alcune indicazioni di seguito elencate:

- **E' necessario dovere contrarre le aree P.I.P ad una sola area P.I.P ed in particolare a quella localizzata in Vecite evitando che si generi una sovrapposizione fra il flusso veicolare indotto dal parcheggio e dai VV. FF. con anche quello del P.I.P. previsto in Demanio;**
- **Il dimensionamento della area P.I.P non potrà essere superiore al valore minimo del range identificato di 3960 mq di s.c. al fine di limitare quanto più possibile l'impatto del flusso indotto.**

Viene dunque analizzato lo scenario con la proiezione futura dei flussi ad esclusione dei parcheggi e del dislocamento del terminal bus, e tenendo conto della proposta di variazione della configurazione della viabilità. Gli interventi complessivamente hanno tenuto conto: **della variazione dei sensi di marcia come di seguito riportato e della eliminazione della sosta laterale sia su via nuova provinciale Chiunzi che lungo la statale amalfitana. In quest'ultimo caso l'effetto della sosta laterale è stato quello di consentire di raddoppiare la capacità lungo tale infrastruttura separando le manovre in conflitto al nodo a regole di priorità di confluenza fra via nuova Provinciale Chiunzi e la statale Amalfitana.** E' opportuno, inoltre evidenziare che nella riconfigurazione dei sensi di marcia si è ritenuto deviare il flusso veicolare ordinario (ad eccezione dunque di bus e VV.FF. nonché mezzi per il carico scarico delle merci a servizio della prevista area P.I.P. in Vecite) lungo via Cristoforo Colombo; altresì è stato necessario separare gli accessi e dunque le manovre di svolta in uscita da corso Reginna; infine, ulteriore riduzione dei conflitti è stata introdotta dalla eliminazione della svolta a sinistra dalla statale amalfitana in direzione di via provinciale Chiunzi che è stata a sua volta sostituita dalla prosecuzione lungo la statale amalfitana con inversione alla rotonda al termine della strada.

I risultati evidenziamo come lo scenario proposto sia in grado di mitigare tutti i fenomeni di rigurgito delle code determinati dall'incisivo incremento dei flussi. In particolare i nodi ai quali il fenomeno di laminazione si evidenzia maggiormente sono i nodi 1 e 2.

Lo stesso scenario di intervento precedente in termini di viabilità, viene poi testato aggiungendo progressivamente i parcheggi lungo via Nuova Chiunzi ed il dislocamento del terminal bus successivamente.

Nel primo dei due casi precedenti, si evidenzia, per questioni di sicurezza, la necessità mitigare l'impatto della riduzione di capacità all'uscita indotto dal parcheggio previsto in corrispondenza della struttura scolastica nella direzione di salita di via Nuova Chiunzi. Tale parcheggio induce, infatti, un fenomeno di rigurgito delle code a monte sino all'ingresso del comune di Maiori dalla direzione Salerno. **Viene, dunque, prescritto l'introduzione di un dispositivo di trasmissione di informazione all'utenza (pannello a messaggio variabile) con la finalità di impedire ai veicoli di transitare lungo la statale amalfitana ma laminandoli a monte ed invitandoli a parcheggiare all'ingresso del comune di Maiori e l'inserimento di un dispositivo semaforico attivo a laminare a monte il flusso di traffico evitando il rigurgito di code a valle in prossimità dell'incrocio fra via Amendola e la statale Amalfitana.**

Infine, viene analizzato lo scenario che tiene conto anche dell'incremento del flusso indotto con incluso l'impatto del dislocamento del terminal bus da Amalfi alla zona di via Demanio. **I valori numerici ottenuti evidenziano l'incremento di forti criticità in corrispondenza di seguenti nodi: nodo 1 con specifico riferimento a via Amendola; nodo 4 con significativo incremento lungo via Reginna; nodo 5, in corrispondenza dell'Hotel Sole con conseguente significativo rigurgito delle code a monte.** Tale scenario, studiato in via preliminare a partire da un adattamento dell'attuale piano di esercizio delle linee del trasporto pubblico su gomma, fa emergere un impatto non sostenibile e si ritiene pertanto che tale soluzione progettuale sia non perseguitabile. Infine, tutte le analisi sono state condotte sulla base dei flussi rilevati nei giorni feriali 29/10/2019 e 30/10/2019 e nei festivi tra il 26/10/2019 e il 27/10/2019, si prevede pertanto un impatto ancora più rilevante nel periodo estivo dove sono attesi incrementi significativi di domanda sia in scambio che attraversamento.

Va, infine, evidenziato che tutti i fenomeni di incremento degli indicatori di prestazione, ed in particolare come nel caso in oggetto degli indicatori di lunghezza media e massima della coda, rappresentano una proxy degli incrementi degli impatti, sia in termini ambientali che in termini di sicurezza.

6 Conclusioni

La analisi degli impatti sul regolare deflusso veicolare sono stati funzionali a comprendere se la realizzazione di tali interventi indurrà fenomeni di congestione coerenti con la capacità delle infrastrutture esistenti. Nella fattispecie, con il supporto di un approccio descrittivo, ossia basato su successive simulazioni delle prestazioni del sistema di trasporto in analisi, si è proseguito ad implementare gli interventi previsti nello scenario trasportistico attuale; una volta implementati tali interventi se ne sono, dunque, osservati ed analizzati gli impatti per poi proporre scenari di intervento alternativi fino alla identificazione del migliore assetto della viabilità. In particolare, sono state analizzate tutte le infrastrutture interne all'area geografica direttamente influenzata dalla realizzazione degli interventi sopra elencati e, per ciascuna di esse, è stato simulato il grado di utilizzo in termini di prestazioni con specifico riferimento ai fenomeni di accodamento.

La sintesi degli interventi proposti può essere articolata come di seguito riportato

- interventi relativamente al ridimensionamento degli obiettivi del P.U.C. ossia
 - **la riduzione delle aree da destinare alla localizzazione di impianti produttivi, privilegiando per esse quella individuata in località Vecite, maggiormente compatibile con le criticità indotte in termini trasportistici, rispetto a quella ipotizzata in località Demanio;**
 - **la esclusione dell'intervento di delocalizzazione del terminal bus in località Demanio, risultato fortemente incompatibile con ogni possibile scenario valutato;**
- interventi diretti sulla viabilità ai fini della mitigazione degli impatti in termini di congestione ossia
 - **l'integrazione del numero di infrastrutture utilizzate per la viabilità principale e la variazione dei sensi di marcia con la finalità di ridurre complessivamente il numero dei conflitti alla intersezione, regolamentata a regole di priorità rappresentativa del nodo di confluenza fra via nuova provinciale Chiunzi e la statale amalfitana;**
 - **l'incremento di capacità con la eliminazione della sosta laterale su via nuova provinciale Chiunzi e parte della statale amalfitana;**
 - **l'introduzione un dispositivo di trasmissione di informazione all'utenza (pannello a messaggio variabile) con la finalità di impedire ai veicoli di**

transitare lungo la statale amalfitana ma laminandoli a monte ed invitandoli a parcheggiare all'ingresso del comune di Maiori e l'inserimento di un dispositivo semaforico atto a laminare a monte il flusso di traffico evitando il rigurgito di code a valle in prossimità dell'incrocio fra via Amendola e la statale Amalfitana.

Appendice A: Calibrazione e Validazione del modello di microsimulazione

Verifica, validazione e calibrazione del modello

I termini verifica, validazione e calibrazione sono spesso utilizzati nel contesto dei modelli di microsimulazione. Questo paragrafo ne effettua una definizione esplicita di uso comune nel campo dell'ingegneria dei trasporti. La verifica del modello è il processo volto a determinare se la logica che descrive le meccaniche sottostanti al modello, come specificata dagli sviluppatori, è fedelmente riprodotta dal modello stesso. È importante notare che la verifica del modello non si preoccupa del fatto che la logica sia corretta. Per esempio, se gli sviluppatori del modello vogliono che una corrente di veicoli in prossimità di una intersezione isolata segua la distribuzione di Poisson, allora la verifica del modello deve confermare che i veicoli modellati siano realmente distribuiti in accordo alla pdf di Poisson. Per questa applicazione potrebbero essere utilizzate le tecniche grafiche di bontà di adattamento (goodness-of-fit). La questione relativa alla correttezza di tale distribuzione non fa parte della verifica del modello.

La validazione del modello è il processo volto a determinare in che misura le regole e le relazioni fondamentali sottostanti il modello siano in grado di cogliere adeguatamente le caratteristiche emergenti per cui il modello è finalizzato. Come dice il nome stesso, le caratteristiche, quindi, emergono dal modello e non sono definite a priori. Nei modelli di microsimulazione del traffico, per esempio, la capacità di un arco, la densità e la velocità sono spesso definite come caratteristiche emergenti. Si noti che le proprietà emergenti potrebbero essere confrontate con valori teorici o con dati raccolti empiricamente. In merito alla capacità, ad esempio, la validazione potrebbe includere un confronto della capacità dell'arco con i valori del Highway Capacity Manual (HCM, 2010) o con i dati osservati.

La calibrazione del modello è il processo volto a modificare i parametri predefiniti della microsimulazione in modo tale che il modello replichi le condizioni di traffico osservate il più accuratamente possibile. Per esempio, se una distribuzione poissoniana è ritenuta appropriata per modellare una data corrente di veicoli in arrivo ad un semaforo, allora la calibrazione del modello individuerà il miglior valore del parametro λ della distribuzione poissoniana. È buona pratica utilizzare differenti insiemi di dati per i processi di calibrazione e validazione del modello. Inoltre, lo step di calibrazione viene comunemente eseguito prima della fase di validazione.

Misure aggregate di Goodness-of-Fit

Per quantificare la misura in cui i risultati del modello si adattano ai dati sul campo, può essere utilizzato un certo numero di misure aggregate di bontà di adattamento. Viene adottato il termine aggregate poiché tutte le misure sono combinate all'interno di un unico parametro. Le misure aggregate comunemente utilizzate includono lo scarto medio assoluto (MAE), lo scarto medio assoluto percentuale (MAPE) (a volte denominato rapporto di scarto medio assoluto (MAER)) e lo scarto quadratico medio (RMSE), mostrate nelle equazioni seguenti:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - E_i|$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|O_i - E_i|}{O_i}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}$$

dove:

- O_i Misura di performance (e.g., volume medio di arco) osservata dai dati sul campo
- E_i Misura di performance (e.g., volume medio di arco) stimata dal modello di simulazione
- N Numero complessivo di osservazioni (e.g., volumi di arco).

Ogni misura ha i propri vantaggi e svantaggi. Ad esempio, il MAPE stima l'errore come una percentuale della media osservata ed è pertanto facilmente comprensibile poiché ha un significato fisico. Si assume di aver misurato i volumi di arco e di aver confrontato questi ai volumi di arco simulati. Un MAPE di 0.10 indica che, mediamente, i risultati del modello e della simulazione differiscono del 10%. Se la misura di performance è il volume di arco e la rete è un mix di arterie ed autostrade, allora è probabile che il MAPE per le strade minori sarà più grande rispetto a quello per le strade principali. Di conseguenza, il MAPE non dovrebbe essere calcolato in maniera combinata per tutti gli archi, ma separatamente per gruppi di archi con simili volumi osservati. L'utente può scegliere qualsiasi misura di performance (volume di arco, occupazione, velocità, etc.); tuttavia, si dovrebbe

indicare a quale parametro ci si riferisce nel riportare i risultati.

Le equazioni di sopra sono presentate per un singolo periodo di tempo. Spesso è utile applicare le misure di performance scelte a distinti periodi di tempo. Per esempio, durante la simulazione di un periodo di picco di quattro ore, può essere conveniente riferire le misure di performance a periodi di un'ora o di trenta minuti in modo che i trend possano essere esaminati nel corso del tempo. In questa situazione, la misura di performance aggregata viene calcolata per ciascun periodo di tempo. Ad esempio, il MAE disaggregato per il periodo di tempo t (MAE_t):

$$MAE_t = \frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^{N_t} |O_{it} - E_{it}| \quad t = 1, \dots, T.$$

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^T MAE_t}{T}$$

dove:

- t Periodo di tempo t ; tutti i periodi di tempo sono di uguale lunghezza
- T Numero dei periodi di tempo
- O_{it} Misura di performance (e.g., volume medio di arco) osservato dai dati sul campo durante il periodo di tempo t
- E_{it} Misura di performance (e.g., volume medio di arco) stimato dal modello di simulazione durante il periodo di tempo t
- N_t Numero complessivo di osservazioni (e.g., volumi di arco) durante il periodo di tempo t .

Si noti che nella letteratura dei trasporti la maggior parte delle misure di volume e domanda sono presentate in termini di veicoli all'ora (veh/h). Tuttavia, per convenzione, questa misura di volume si basa su osservazioni di quindici minuti, salvo diversa indicazione (HCM, 2010). Di conseguenza, molti utenti scelgono i dati di volume di output al livello di aggregazione di 15 minuti.

Analisi statistica degli output di microsimulazione

Si vuole spesso sapere se i risultati della simulazione sono validi o se c'è una significativa differenza tra i risultati in senso statistico. Tipicamente questo viene determinato confrontando i risultati della simulazione con una delle tre fonti che seguono:

1. Valori deterministicici basati sulla teoria o sulla pratica comune, per esempio, un valore di capacità derivante dall'analisi in microsimulazione vs. la capacità calcolata dal modello di capacità autostradale.
2. Dati empirici ottenuti da uno o più siti sul campo. Gli output di misura di performance empirica possono essere raccolti manualmente dall'utente o automaticamente da un apparecchio rilevatore esistente che fa parte di un sistema di monitoraggio (e.g., impianti ad induzione).
3. Output da due run di microsimulazione che hanno differenti caratteristiche di offerta o domanda.

Per esempio, la simulazione 1 potrebbe utilizzare il sistema di controllo del traffico attuale mentre la simulazione 2 potrebbe utilizzare un sistema di controllo ottimizzato. In questo caso, l'utente può essere interessato a determinare (i) quali miglioramenti possono verificarsi mediante l'utilizzo di nuovi sistemi di controllo del traffico, e (ii) se queste differenze sono statisticamente significative.

L'utente deve definire quali misure di performance confrontare. Tra le varie misure, queste possono includere la velocità media, il ritardo medio ed i volumi. Si deve anche definire quali test statistici utilizzare insieme al loro relativo livello di significatività. La struttura generale è illustrata in Fig. 20.

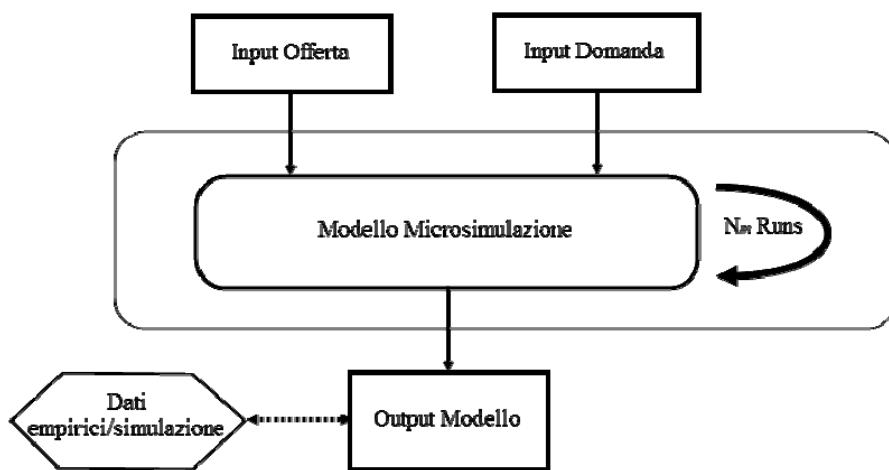


Fig.20 – Analisi statistica dei risultati di microsimulazione

Le decisioni di cui sopra vengono spesso prese separatamente. Per esempio, la domanda di quale misura di performance utilizzare è spesso funzione di quale informazione può essere rapidamente raccolta sul campo (e.g., si vorrebbe la densità stradale, ma si può avere accesso solo a misure automatizzate di occupazione) e di quali sono gli output del modello di microsimulazione (e.g., si vorrebbe il ritardo all'accesso per manovra di svolta ma l'output del modello fornisce solo il ritardo medio del veicolo).

Soprattutto, per definizione, sia i risultati empirici che quelli derivanti dalla simulazione possono essere stocastici. Riguardo ai dati empirici, per esempio, si può misurare l'occupazione dalle 7.00 alle 8.00 per un periodo di venti giorni feriali. Da queste misurazioni, si possono quindi ottenere misure di tendenza centrale (e.g., media, mediana e moda) e misure di dispersione (e.g., varianza). La ragione per cui gli output di microsimulazione possono essere stocastici richiede una spiegazione più dettagliata. Per sua natura, un modello di microsimulazione, dato lo stesso input, fornirà lo stesso output, a parità di tutte le altre condizioni. Ciò significa che i run di microsimulazione sono ripetibili – lanciandolo dopo un anno esattamente con gli stessi dati di input, il modello fornirà lo stesso risultato. Tuttavia, la logica sottostante ai modelli di microsimulazione del traffico è intrinsecamente stocastica dal momento che i modelli utilizzano un generatore di numeri pseudocasuali per stimare le funzioni di densità di probabilità (pdf). Queste pdf, a loro volta, vengono utilizzate per individuare il momento in cui i veicoli partono dalle proprie origini, selezionare i tipi di veicolo, scegliere i percorsi, individuare gli attributi di comportamento, e così via. I generatori di numeri pseudocasuali produrranno un flusso distinto di numeri più o meno casuali per numeri di semi differenti. I numeri di seme sono parte dei requisiti di ingresso e vengono controllati dall'utente. Di conseguenza, due numeri di semi differenti si tradurranno in due diversi insiemi di risultati della simulazione. È importante scegliere i numeri di seme che generano run indipendenti. Ancora più importante, questo significa che un determinato scenario può essere analizzato in base alla media di diversi run di simulazione, utilizzando i valori di semi diversi per i numeri casuali. Se un utente esegue una simulazione N_m volte con N_m differenti semi di numeri casuali, possono essere ottenute misure di tendenza centrale e dispersione (ed in effetti la completa funzione di distribuzione cumulata) dai modelli di microsimulazione.

A causa della natura stocastica dei dati osservati e simulati, sono necessarie tecniche statistiche per prendere decisioni consapevoli per quanto riguarda la qualità dei risultati della simulazione. Ad esempio, è improbabile che i risultati empirici e simulati, come la velocità media su un arco specifico, corrispondano esattamente.

Quando un utente vuole dare informazioni su specifiche quantità fisiche, tipicamente vengono utilizzati i metodi di inferenza. Una domanda comune è quella di confrontare una variabile stocastica

con un valore deterministico (e.g., il ritardo medio di arresto è pari o inferiore ad un valore teorico?). In questa situazione, si adottano semplici test delle ipotesi ed intervalli di confidenza (CI). Un'altra domanda comune è se la differenza in una data misura di performance tra i dati osservati, denominati Y , ed i dati simulati, denominati X , è significativa. In tal caso, può essere utilizzato l'intervallo di confidenza mostrato in seguito:

$$\bar{X} - \bar{Y} \pm t_{df,1-\alpha/2} SE(\bar{X} - \bar{Y})$$

dove:

- X Misura osservata (e.g., tempo di viaggio medio per l'intera simulazione, velocità media su uno specifico arco, etc.)
- Y Corrispondente misura simulata (e.g., tempo di viaggio medio per l'intera simulazione, velocità media su uno specifico arco, etc.)

Come prima, se CI contiene zero, allora non vi è alcuna prova significativa contro l'ipotesi che le medie delle due misure siano uguali. Si deve notare che X può anche rappresentare i risultati di simulazione. Ad esempio, si potrebbe voler analizzare l'effetto che può produrre un'azione sul sistema. In questo caso, l'utente potrebbe lanciare il modello simulando prima la situazione attuale e poi quella di progetto e confrontarne i risultati.

Identificazione del numero statisticamente ottimale di simulazioni

I test precedenti presuppongono che il numero di simulazioni, N_m , sia noto *a priori*. Per esempio, si decide in anticipo di eseguire la simulazione venti volte e poi di effettuare le analisi statistiche. Tuttavia, a volte è utile calcolare quante simulazioni del modello sono richieste per una particolare analisi al fine di ottenere risultati statisticamente significativi. La formula per rispondere a questa domanda è::

$$N_m = \left(t_{1-\alpha/2,N_m-2} \frac{\sigma_m}{\varepsilon} \right)^2 \quad m=1, \dots, M.$$

ove:

- N_m Numero di simulazioni per la misura di performance m
- M Numero di misure di performance considerate dall'utente
- σ_m Deviazione standard (stimata) della misura di performance m
- $t_{1-\alpha/2,N_m-2}$ valore t statistico per un dato livello di significatività e numero di simulazioni
- ε Errore ammissibile, spesso associato ad una percentuale del valore medio della misura di performance μ_m .

Il numero di simulazioni diventa una variabile dipendente. Può essere notato dalla precedente equazione che sono richiesti diversi tipi di informazione per il calcolo di N_m . Il livello di significatività deve essere definito dall'analista. Tipicamente vengono scelti valori di 10, 5 e 1%. Inoltre, al fine di calcolare N_m , è richiesta la deviazione standard della misura di performance – questo è complicato, poiché non è nota finché non viene eseguita la simulazione. L'utente, quindi, è di fronte a due scelte: o assumere un valore basato sulle esperienze passate o utilizzare un approccio iterativo.

- Step 1 Eseguire un determinato numero di simulazioni. Un numero tipo dovrebbe essere dell'ordine di dieci.
- Step 2 Calcolare la media e la deviazione standard per ogni misura di performance, m .
- Step 3 Calcolare N_m per ogni misura di performance m . Il più alto valore è quello richiesto per l'analisi.
- Step 4 Confrontare il numero di simulazioni completate con il numero identificato allo step 3 (i.e., confrontare N_m con l'attuale numero di simulazioni). Sono state effettuate sufficienti simulazioni?
 - Se sì, fermarsi.
 - Se no, eseguire di nuovo la simulazione e ritornare allo step 2

All'interno di tale studio le simulazioni sono state effettuate considerando un numero di replicazioni pari a 20.

Calibrazione dei modelli di microsimulazione

La calibrazione dei modelli di microsimulazione del traffico ha ricevuto una diffusa attenzione a

causa del crescente utilizzo di tali modelli sia per le operazioni di gestione del traffico che per le applicazioni nella pianificazione dei trasporti. La capacità di modellare con precisione ed efficienza le caratteristiche del flusso di traffico, il comportamento del conducente e le operazioni di gestione del traffico è fondamentale per ottenere realistici risultati di microsimulazione.

Come descritto precedentemente, la calibrazione è definita come il processo volto a correggere il valore dei parametri del modello di microsimulazione in modo tale che gli output della simulazione siano quanto più possibile coerenti con i dati osservati o empirici. A causa della difficoltà nel raccogliere dati sul campo e della mancanza di procedure di calibrazione automatiche prontamente disponibili, spesso si adottano valori predefiniti dei parametri. Sulla base dell'esperienza, raramente il risultato dei valori di default negli output di microsimulazione replica i dati empirici.

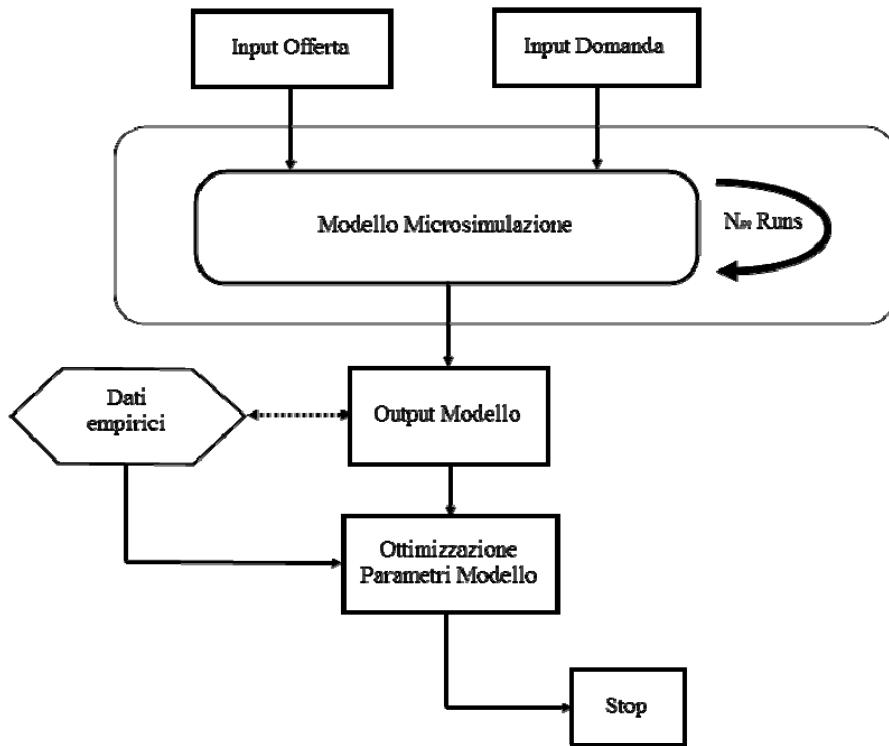


Fig.21 – Quadro di sintesi del processo di calibrazione

La figura 21 illustra una concettualizzazione del processo di calibrazione. Il primo step della calibrazione è la scelta di uno o più siti dai quali ottenere i dati sul campo. Il secondo step è definire l'insieme di misure di performance rispetto alle quali il modello verrà calibrato. Per esempio, l'utente potrebbe scegliere di utilizzare velocità medie, tempi di viaggio, ritardo medio o altri fattori. Una volta acquisite queste misure, viene raccolta una quantità appropriata di dati empirici. La quantità appropriata di dati è una funzione dell'analisi statistica adottata e del livello di confidenza desiderato.

La rete osservata viene modellata utilizzando un set preliminare di parametri di microsimulazione iniziali. Questo set preliminare può essere basato sui valori di default, sui risultati di una precedente calibrazione o sulla pratica ingegneristica. Dopo che il modello viene lanciato, le misure di performance vengono raccolte e stimate dall'output del modello.

Vengono scelti i criteri che definiscono il livello di somiglianza tra i risultati del modello ed i dati sul campo richiesti affinchè si possa considerare il modello calibrato in maniera soddisfacente. Per esempio, vengono utilizzati tutti i test sulle misure aggregate (e.g., MAPE) e sugli intervalli di confidenza. Sulla base dei risultati dei test statistici, i parametri del modello vengono corretti ed il processo ripetuto. Quando i dati simulati corrispondono ai dati empirici, il modello viene considerato calibrato ed il processo si arresta.

Il processo di calibrazione delineato in figura 21 a volte viene effettuato manualmente mediante il controllo di ogni step da parte dell'utente. Questo è particolarmente problematico per la presenza di una molteplicità di parametri (relativi alle caratteristiche dei veicoli, comportamento dei conducenti, etc.) che possono richiedere correzioni.

Appendice B: Misure di performance

Per analizzare i sistemi di trasporto si utilizzano misure di performance. Tali misure di performance sono spesso adottate nel processo di calibrazione e nel test delle ipotesi e possono essere calcolate dai dati osservati o simulati.

Alcune delle più importanti applicazioni delle misure di performance sono:

1. Fornire una prospettiva generale
2. Valutare la struttura o le prestazioni del sistema
3. Calibrare i modelli
4. Individuare i problemi
5. Sviluppare e valutare miglioramenti
6. Elaborare programmi e priorità

Le misure di performance sono tipicamente utilizzate per fornire al decisore l'informazione quantitativa necessaria per prendere e controllare decisioni. Tipici livelli di aggregazione delle misure di performance, così come esempi per ogni tipo di parametri, sono mostrati in Tab. 33. È da notare che in questa tabella i due livelli di aggregazione più alti, ossia le finalità e gli obiettivi, sono i prodotti diretti di esercizi di pianificazione strategica. I due livelli più bassi, informazione e dati, sono ricavati dalla gestione operativa e dalla raccolta dei dati.

Tab. 33 – Livelli di aggregazione

<i>Livello di misurazione delle prestazioni</i>	<i>Tipi di misure di performance richiesti</i>	<i>Esempi di misure attinenti</i>
Finalità	Obiettivo complessivo del trasporto sostenibile	Per avere un sistema di trasporto sostenibile
Obiettivi	Obiettivi sociali, ambientali ed economici	Per avere un sistema di trasporto su strada sicura
Indici	Misure di performance aggregate o integrate	Indice di sicurezza
Misure di performance	Misure di input, output o risultati	Vittime per 100 milioni di chilometri di viaggio
Informazione	Dati elaborati	Chilometri di viaggio del veicolo e numero di vittime
Dati	Dati non elaborati	Conteggi di volume e registri di incidenti

La tabella 33 contiene, inoltre, una sintesi di una buona misura di performance. Si osservi che i quindici attributi di una buona misura di performance suggeriti in tabella 34 sono una lista dei desideri verso cui deve tendere il progettista. È relativamente raro che una misura di performance possieda la maggior parte di questi attributi. In alcuni casi, determinati attributi di una buona misura di performance non sono compatibili ed una particolare misura di performance pertanto non è conforme a tutte le caratteristiche.

Come esempio, è molto difficile per una misura di performance essere semplice (i.e., comprensibile a livello della comunità) e allo stesso tempo affrontare determinati aspetti multidimensionali

complessi. Pertanto è spesso necessario avere una varietà di indicatori per le differenti applicazioni.

Tab. 34 – Attributi di una buona misura di performance

<i>Qualità</i>	<i>Spiegazione</i>
1. In grado di discriminare	Deve essere in grado di differenziare le singole componenti che interessano la performance del sistema
2. In grado di integrare	Deve essere in grado di integrare aspetti ambientali, sociali ed economici
3. Accettabile	La comunità generale deve poter assistere nell'individuazione e nello sviluppo delle misure di performance
4. Accurata	Deve essere basata su informazioni accurate, di qualità ed origini note
5. Accessibile	Deve essere basata su dati facilmente reperibili o su dati che possono essere ottenuti ad un costo ragionevole
6. Appropriato livello di dettaglio	Deve essere specificata ed utilizzata ai livelli di dettaglio ed aggregazione appropriati alla domanda a cui dovrebbe rispondere
7. Con un obiettivo	Deve avere un livello di obiettivo o un parametro di riferimento con cui fare un confronto
8. Misurabile	I dati devono essere disponibili e gli strumenti devono esistere per eseguire i calcoli necessari
9. Multidimensionale	Deve essere in grado di essere utilizzata per intervalli di tempo, in differenti aree geografiche, con differenti scale di aggregazione e nel contesto dei problemi multimodali
10. Non influenzata	Non deve essere influenzata da fattori esogeni che sono difficili da controllare e di cui l'ingegnere non è neanche a conoscenza
11. Pertinente	Deve essere compatibile con le finalità e gli obiettivi generali
12. Sensibile	Deve rilevare un certo livello di cambiamento che avviene nel sistema di trasporto
13. Con indicazione dei trend	Deve essere in grado di mostrare trend nel tempo e fornire avvertimenti sui problemi e sui trend irreversibili
14. Puntuale	Deve essere basata su informazioni puntuale che sono in grado di essere aggiornate ad intervalli regolari
15. Comprensibile	Deve essere comprensibile e facile da interpretare, anche dalla comunità in generale

Misure di performance comuni utilizzate nelle analisi di simulazione

Gli output del modello di simulazione vengono utilizzati per quantificare le misure di performance, che possono essere classificate in tre tipi:

1. Misure puntuali (i.e., velocità media puntuale, *throughput*)
2. Misure basate sull'arco (i.e., tempo di viaggio dell'arco, velocità media spaziale, ritardo)
3. Misure del sistema (i.e., velocità media del veicolo, ritardo medio della persona).

Tipicamente, la maggior parte dei dati che vengono raccolti automaticamente sul campo consiste di misure puntuali a causa della natura della tecnologia disponibile. Per esempio, i rilevatori a spire, le rilevazioni video ed i radar, che sono tra i dispositivi di raccolta del traffico più comunemente utilizzati, forniscono informazioni di traffico ottenute ad un singolo punto, posizionandoli lungo la rete. I tag di pedaggio elettronico e la tecnologia dei telefoni cellulari consentono di monitorare più veicoli sia nello spazio che nel tempo mentre attraversano la rete. Ovviamente, mentre questi sistemi diventano più diffusi, i dati basati sull'arco diventano più facilmente reperibili.

Va osservato che la maggior parte dei modelli di simulazione può fornire informazioni per tutte e tre le categorie. In generale, la seconda categoria è quella più utile perché consente all'analista di studiare trend spaziali e temporali.

A prescindere dai tipi di dati scelti, la quantità di output può essere molto ampia per grandi simulazioni. Di conseguenza, molti analisti si concentrano su misure aggregate, perlomeno per una

analisi preliminare.

Si è spesso interessati alle misure di performance relative alla congestione, le quali possono essere classificate in quattro dimensioni:

1. Durata (i.e., periodo di tempo in cui l'infrastruttura è affetta da congestione)
2. Estensione (i.e., numero di persone influenzate e località geografica)
3. Intensità (i.e., severità della congestione; tipicamente è la reale esperienza di viaggio in relazione all'esperienza di viaggio attesa)
4. Accuratezza (i.e., variazione delle prime tre dimensioni)

In generale, le misure di performance vengono utilizzate per misurare la variazione della congestione sulla base dei livelli di analisi. Il ritardo dell'accesso, il ritardo individuale e simili misure di performance sono utili per specifiche intersezioni e località. Misure di performance come tempo di viaggio, velocità e ritardo per veicolo sono utili fino al livello di corridoio stradale. Per alti livelli di analisi, vengono spesso utilizzate misure cumulative. In aggiunta, vengono occasionalmente utilizzati indici di congestione per aiutare a quantificare la congestione a causa della difficoltà nell'interpretazione delle relative condizioni. performance utilizzate nelle microsimulazioni.