

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

### EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)  
SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)  
COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)  
SACYR S.A.U. (MANDANTE)  
ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)  
A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

 <p>IL PROGETTISTA Dott. Ing. F. Colla Ordine Ingegneri Milano n° 20355 Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE</p> <p>Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
--	--	---	---

<p><i>Unità Funzionale</i></p> <p><i>Tipo di sistema</i></p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i></p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i></p> <p><i>Titolo del documento</i></p>	<p>COLLEGAMENTI SICILIA SICILIA</p> <p>INFRASTRUTTURE STRADALI – OPERE CIVILI</p> <p>PIAZZALE DI ESAZIONE</p> <p>ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE</p> <p>RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE</p>	<p>SS0945_F0</p>
---	--	------------------

CODICE	<table border="1"> <tr> <td>C</td><td>G</td><td>0</td><td>7</td><td>0</td><td>0</td> <td>P</td><td>R</td><td>G</td><td>D</td><td>S</td><td>S</td><td>C</td><td>P</td><td>0</td><td>G</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>F0</td> </tr> </table>	C	G	0	7	0	0	P	R	G	D	S	S	C	P	0	G	0	0	0	0	0	0	2	F0
C	G	0	7	0	0	P	R	G	D	S	S	C	P	0	G	0	0	0	0	0	0	2	F0		

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	S. BIANCHI	F. BERTONI	F. COLLA



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## INDICE

INDICE .....	3
1   PREMESSA.....	5
2   I DATI DI TRAFFICO DISPONIBILI E LE IPOTESI ASSUNTE .....	6
2.1   Informazioni di traffico disponibili.....	6
2.2   I parametri di traffico utilizzati nel presente studio .....	7
2.2.1   Traffico Giornaliero Medio (TGM) e fattori dell'ora di punta.....	7
2.2.2   Stagionalità.....	8
2.2.3   Traffici delle Ore di Punta (THP).....	10
2.2.4   Direzionalità dei flussi nelle ore di punta .....	10
2.2.5   Ripartizione dei flussi sui sistemi di esazione.....	10
2.2.6   Capacità teorica dei sistemi di esazione .....	11
3   GLI SCENARI VALUTATI .....	12
3.1   Anno 2018 .....	14
3.1.1   Direzione prevalente.....	14
3.1.2   Direzione minore .....	15
3.2   Anno 2033 .....	16
3.2.1   Direzione prevalente.....	16
3.2.2   Direzione minore .....	17
4   LA MICRO-SIMULAZIONE DINAMICA SU RETE COME STRUMENTO INNOVATIVO DI ANALISI DEL TRAFFICO E DI PIANIFICAZIONE.....	18
4.1   APPLICAZIONE DELLA MICRO-SIMULAZIONE AL CASO DI STUDIO.....	20
4.1.1   Definizione dell'area di studio .....	20
4.1.2   Implementazione della rete infrastrutturale (offerta).....	21
4.1.3   Definizione della domanda di traffico .....	23
4.1.4   Definizione dei parametri di simulazione.....	24
4.1.5   Definizione degli indicatori prestazionali della rete.....	27
4.1.6   Implementazione del modello di micro-simulazione .....	28
4.2   RISULTATI DELLA MICRO-SIMULAZIONE ED ANALISI DEGLI INDICATORI PRESTAZIONALI.....	31
4.2.1   Scenario 1 .....	31
4.2.2   Scenario 2 .....	33
4.2.3   Confronti.....	36
5   CONCLUSIONI.....	38



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 1 PREMESSA

Le specifiche tecniche per il progetto definitivo ed esecutivo dell'opera prescrivono che:

*“Il Contraente Generale sarà tenuto a progettare la barriera di esazione e il numero di piste per un funzionamento a regime che garantisca almeno un **livello di servizio C** (secondo le norme AASHTO). Si potrà scendere ad un **livello D** in casi eccezionali ed esclusivamente per le piste manuali. La barriera di esazione dovrà essere all'aperto.*

*Il Contraente Generale dovrà progettare il numero di piste in funzione dei dati di traffico aggiornati previsti alla data di messa in esercizio dell'opera di Attraversamento. Sarà altresì necessario che il livello di servizio offerto sia mantenuto anche per i flussi di traffico previsti nei primi 30 anni di esercizio dell'opera.”*

Tale prescrizione comporta che a regime, ovvero in condizioni di traffico medio, venga garantito un Livello di Servizio (**LoS**) pari a C. Nelle ore di massima punta è ammesso un LoS pari a D esclusivamente per le porte manuali.

La presente relazione effettua dette verifiche funzionali sulla base delle quali determina il dimensionamento del numero e della tipologia delle porte della barriera di esazione.

Il presente studio dunque ha come obiettivo la valutazione prestazionale del layout del piazzale della nuova barriera di esazione a servizio del Ponte sullo Stretto di Messina, al fine di verificare il corretto dimensionamento del numero e della tipologia delle porte di esazione nelle varie condizioni di punta del traffico e di evitare, nelle tipiche situazioni di esercizio, la formazione di code all'interno della galleria a monte della barriera in esame (lato Sicilia).

Verrà pertanto dettagliatamente analizzata e verificata dal punto di vista funzionale la capacità della barriera di esazione attraverso l'analisi di una serie di parametri prestazionali quali la lunghezza delle code ed il comportamento dei veicoli in prossimità della barriera.

A tal fine si è proceduto all'implementazione di un modello di micro-simulazione dinamica del traffico, in grado di effettuare una verifica puntuale e dettagliata della dinamica delle code alla barriera, in funzione del numero e della tipologia di veicoli in transito, dell'arrivo casuale dei veicoli e del differente comportamento dei conducenti.

La configurazione del piazzale di esazione è stata rappresentata fedelmente nel modello in termini di geometrie e di funzionalità delle porte, mentre i veicoli sono stati rappresentati attraverso una serie di classificazioni tipologiche nel seguito dettagliatamente descritte.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 2 I DATI DI TRAFFICO DISPONIBILI E LE IPOTESI ASSUNTE

### 2.1 Informazioni di traffico disponibili

Per la redazione del presente studio sono state consultate numerose fonti dati; in particolare, per quanto attiene alle previsioni sui traffici attesi si è fatto riferimento ai dati riepilogativi inerenti le previsioni di traffico riportati nel documento "Sintesi traffico a.b. 2006 rev3.xls" - *Riepilogo dei flussi di traffico sul Ponte nello scenario base (crescita macroeconomica "Intermedia" e scenario trasportistico "sfavorevole")* da cui si possono ricavare le previsioni di traffico annuale totale bidirezionale dal 2016 al 2046 classificati per tipologie veicolari, con ipotesi di crescita macroeconomica "intermedia" e scenario trasportistico "sfavorevole". Tali dati sono attualmente in fase di revisione e verranno aggiornati nei prossimi mesi per considerare gli effetti negativi della crisi economica del 2009-2010.

Gli effetti della stagionalità dei traffici, legati prevalentemente al turismo, sono stati desunti da uno studio del 2008 fornito da EuroLink, in cui sono riportate le previsioni dei traffici totali bidirezionali annuali e stagionali (invernale/estivo e ordinario/di punta) con orizzonte temporale 2016 e 2025, suddivisi tra veicoli leggeri e pesanti.

Infine, dalle previsioni di traffico allegate al progetto preliminare del ponte (1992), si sono ricavate informazioni relative alla distribuzione oraria e per direzione di marcia dei flussi giornalieri.

Altre informazioni necessarie alla presente valutazione non disponibili negli studi citati, quali il Traffico Giornaliero Medio (TGM) ed o traffici orari medi (THM) e di punta (THP), nonché i parametri prestazionali di base delle porte di pedaggio quali la capacità ed i livelli di servizio delle porte di esazione sono stati ricavati da fonti nazionali ed autostradali.

Il traffico annuale totale bidirezionale preso in considerazione, desunto dai dati disponibili, è il seguente:

<b>Anno</b>	<b>Leggeri</b>	<b>Pesanti</b>	<b>Totale</b>
2018 anno di presunta entrata in servizio del ponte	3 970 768	1 343 475	5 314 243
2032 anno di riferimento per il confronto con studi di traffico precedenti	5 286 018	1 788 478	7 074 496
2033	5 336 955	1 805 712	7 142 667
2046	6 022 389	2 037 623	8 060 012

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Il documento di verifica del dimensionamento della barriera di esazione allegato al progetto preliminare (elaborato PP 2R C11001 del Dicembre 2002) riportava i seguenti principali parametri:

THP alla barriera nell'anno 2032<sup>1</sup>: 1547-1886 V/h in una direzione e 1741-2105 V/h nell'altra

Ripartizione dei flussi tra le due direzioni di marcia nell'ora di punta: 47% e 53% circa.

Ripartizione dei veicoli sulla base del sistema di esazione (costante nel tempo):

Telepass	72%
Viacard	18%
Manuale	10%

Capacità delle porte di pedaggio:

Pista Telepass	1500 V/h
Pista Bimodale (Telepass + Viacard)	700 V/h
Pista Automatica (Viacard / Carta)	500 V/h
Pista Manuale	250 V/h

## 2.2 I parametri di traffico utilizzati nel presente studio

Dalle informazioni desumibili dagli studi di traffico analizzati risulta impossibile determinare tutti i parametri necessari all'individuazione dei flussi di traffico dell'ora di punta, delle capacità delle porte di pedaggio, delle ripartizioni tra i sistemi di esazione e della ripartizione tra i due sensi di marcia, della stagionalità, ecc.

Pertanto, nel presente paragrafo si intende mettere a confronto i parametri desunti dagli studi sopra menzionati con i parametri standard utilizzati solitamente in studi analoghi, al fine di individuare i nuovi valori di riferimento per lo studio.

### 2.2.1 Traffico Giornaliero Medio (TGM) e fattori dell'ora di punta

Sulla base dei più recenti dati di traffico relativi alle autostrade italiane, la stima dei traffici giornalieri (TGM) e di quelli orari (THP) a partire dai traffici annuali, può essere così ricavata:

$$\text{TGM} = \text{Traffico annuale} / 310$$

$$\text{THP} = \text{TGM} * 0.12 \text{ per i veicoli leggeri (classe A)}$$

$$\text{THP} = \text{TGM} * 0.08 \text{ per i veicoli pesanti (classi B, 3, 4 e 5)}$$

Nel caso in esame, i valori così dedotti risulterebbero i seguenti:

---

<sup>1</sup> In tutti i casi sono riportati due valori in quanto sono stati considerati due scenari di traffico non meglio specificati.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

THP al 2032 nella direzione prevalente:

$$5\,286\,018 * 0.53 / 310 * 0.12 + 1\,788\,478 * 0.53 / 310 * 0.08 = 1\,329 \text{ V/h}$$

THP al 2032 nella direzione opposta:

$$5\,286\,018 * 0.47 / 310 * 0.12 + 1\,788\,478 * 0.47 / 310 * 0.08 = 1\,179 \text{ V/h}$$

Entrambi i valori risultano sensibilmente inferiori a quelli riportati nello studio preliminare:

$$1329 < 1741-2105 \text{ V/h}$$

$$1179 < 1547-1886 \text{ V/h}$$

Non si conoscono le motivazioni che hanno portato ai valori di stima utilizzati nello studio allegato al progetto preliminare (anche se si potrebbe ipotizzare che detti flussi siano omogeneizzati), per cui risulta allo stato attuale difficile verificare l'attendibilità dei flussi delle ore di punta. Tuttavia, poiché i parametri desunti dalle statistiche nazionali risultano notoriamente affidabili e stabili, si è scelto di utilizzare questi ultimi. Ai fini del dimensionamento delle porte di esazione si sconsiglia l'omogeneizzazione dei flussi, in quanto le statistiche inerenti le capacità delle diverse tipologie di porte di pedaggio risultano derivanti dall'osservazione empirica dei dati risultanti dalle barriere già esistenti, ricavate sulla base di un flusso di traffico misto avente composizione tipologica dei veicoli del tutto simile a quella ipotizzata nel caso in esame.

La presenza della componente di traffico pesante assume rilevanza anche ai fini della lunghezza dell'eventuale coda al casello; tale aspetto potrebbe risultare estremamente importante nel caso in esame, in quanto un sottodimensionamento del piazzale per il traffico proveniente da Messina potrebbe generare una coda all'interno della galleria; tale aspetto verrà verificato nel capitolo inerente la micro-simulazione dinamica del traffico.

### 2.2.2 Stagionalità

I valori sopra individuati fanno riferimento a condizioni di traffico medie, standard e destagionalizzate, in quanto all'epoca di detto studio non esistevano ancora informazioni sulla stagionalità; gli approfondimenti svolti in seguito hanno evidenziato come la stagionalità abbia una influenza assai rilevante, soprattutto in termini di Traffico Giornaliero. Infatti, le previsioni sul traffico stagionale attualmente disponibili evidenziano come nelle giornate di massima punta estiva il Traffico Giornaliero totale risulti pari a 2.7 volte il traffico della punta invernale. Ovviamente tale dato non risulta significativo ai fini del dimensionamento del sistema, in quanto si riferisce ad una punta eccezionale, risulterebbe comunque altresì troppo sottostimato un dimensionamento del sistema sul semplice TGM annuale.

Si tratta pertanto di individuare un criterio (empirico) per la definizione del Traffico Giornaliero Medio Estivo su cui basare il dimensionamento.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI  ESAZIONE</b>		<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Si riportano nel seguito i dati disponibili; giova evidenziare come i flussi totali annuali risultino inferiori a quelli riportati in precedenza, che sono stati presi come riferimento per le elaborazioni. Pertanto dalle successive tabelle è possibile ricavare soltanto valori percentuali da applicate ai traffici annuali di riferimento.

<i>Veicoli leggeri</i>	<i>Traffico annuale</i>	<i>Giorni</i>	<i>TGM</i>	<i>% sul TGM TOT</i>
ordinario invernale	1 069 818	236	4 533	53%
punta invernale	238 776	23	10 382	121%
ordinario estivo	516 172	76	6 792	79%
punta estivo	835 641	30	27 855	325%
TOT	2 660 407	365	8 582	

<i>Veicoli pesanti</i>	<i>Traffico annuale</i>	<i>Giorni</i>	<i>TGM</i>	<i>% sul TGM TOT</i>
ordinario invernale	1 136 577	236	4 816	108%
punta invernale	89 307	23	3 883	87%
ordinario estivo	86 610	76	1 140	26%
punta estivo	72 691	30	2 423	54%
TOT	1 385 185	365	4 468	

In mancanza di ulteriori informazioni sulla distribuzione giornaliera dei traffici, considerando che il traffico di punta invernale e quello estivo risultano indicativamente stimati per un periodo simile (23 giorni di punta invernale e 30 giorni di punta estiva), si è scelto, a titolo prudenziale, di calcolare la punta media come la media delle due punte stagionali (quella estiva e quella invernale).

Pertanto il valore della punta media estiva risulta pari al 223% del TGM. Tale valore risulta la sommatoria dei flussi ordinari più quelli stagionali, al fine di valutare separatamente tali componenti (che possiedono caratteristiche differenti ed utilizzano percentuali di ripartizione sui sistemi di pedaggiamento differenti) si è ipotizzato che il flusso ordinario estivo corrisponda a quello precedentemente utilizzato per il calcolo del TGM e riportato a pagina 3, mentre la differenza corrisponde al flusso stagionale della punta estiva.

Sempre dai dati relativi alla stagionalità si può altresì dimostrare che il traffico pesante nelle giornate di punta estive risulta inferiore alla media e indicativamente pari al 60% di quello invernale ed al 71% del TGM dei veicoli pesanti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE</b>		<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 2.2.3 Traffici delle Ore di Punta (THP)

Per la definizione dell'ora di punta (THP) di riferimento per le valutazioni, occorre considerare separatamente il traffico locale da quello occasionale turistico: il primo, infatti, subisce gli effetti legati al pendolarismo ed ai tipici orari lavorativi, per cui vale la già citata aliquota del 12% del TGM. Il traffico turistico, viceversa, ha effetto prevalentemente nelle ore di morbida, in cui si concentra maggiormente; nelle prime ore della mattina risulta piuttosto scarso mentre i suoi effetti sono maggiormente rilevabili nelle ore di punta serali, dove comunque non supera mai percentuali dell'ordine del 6/7% del TGM. Nella presente valutazione per il traffico stagionale turistico è stato considerato un fattore dell'ora di punta pari al 7%.

Come già accennato in precedenza, per il traffico pesante è stato considerato un fattore dell'ora di punta pari all'8% del TGM.

### 2.2.4 Direzionalità dei flussi nelle ore di punta

Per quanto attiene alla ripartizione dei flussi nelle due direzioni, a titolo prudenziale si assume una ripartizione più sfavorevole, così individuata:

Flusso nella direzione prevalente	60%
Flusso nella direzione opposta	40%

### 2.2.5 Ripartizione dei flussi sui sistemi di esazione

La ripartizione dei veicoli sulla base del sistema di esazione, relativamente alla situazione attuale (2010) nell'Italia settentrionale, risulta la seguente<sup>2</sup>:

Telepass	55-60%
Viacard	10-15%
Manuale	25-40%

Poiché l'infrastruttura in esame si colloca nel Sud dell'Italia, in una zona in cui il pedaggiamento autostradale - e di conseguenza i sistemi di esazione automatici - è attualmente poco diffuso, l'ipotesi di ripartizione riportata nello studio preliminare sembra essere alquanto ottimistica, soprattutto nei primi anni di esercizio. Inoltre occorre considerare la differenza sostanziale tra i flussi locali, quelli stagionali (di lunga percorrenza) e i traffici pesanti.

Pertanto si è assunto che all'anno 2018 la ripartizione sia prudenzialmente la seguente:

<sup>2</sup> La variabilità delle percentuali è dovuta alle notevoli differenze tra i traffici feriali e quelli festivi.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE</b>		<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Sistema di esazione al 2018	flusso locale	Flusso stagionale	veicoli pesanti
Telepass o simile	60%	65%	65%
Automatica (Viacard o simile)	20%	20%	30%
Manuale	20%	15%	5%

Negli anni successivi si prevede un graduale incremento dei sistemi di pagamento automatizzati, fino al 2033, in cui si ipotizza, sempre prudenzialmente, la seguente ripartizione:

Sistema di esazione al 2033	flusso locale	Flusso stagionale	veicoli pesanti
Telepass o simile	80%	90%	90%
Automatica (Viacard o simile)	15%	5%	5%
Manuale	5%	5%	5%

### 2.2.6 Capacità teorica dei sistemi di esazione

Per quanto attiene alla capacità teorica delle porte di esazione, i valori desunti da alcuni operatori autostradali italiani e da alcune pubblicazioni universitarie sono i seguenti<sup>3</sup>:

Pista Telepass	1000 - 1500 V/h
Pista Viacard / Carta	120 - 360 V/h
Pista Manuale	100 - 240 V/h

Avendo a disposizione diverse fonti in merito alla capacità teorica delle diverse tipologie di porte di esazione si è scelto di utilizzare un valore medio. Pertanto i parametri relativi alla capacità teorica risultano i seguenti:

Pista Telepass	1300 V/h
Pista Bimodale (Telepass + Viacard)	500 V/h
Pista Automatica (Viacard / Carta)	270 V/h
Pista Manuale	160 V/h

<sup>3</sup> In questo caso la variabilità è legata alla fonte: i valori più bassi si riferiscono a parametri utilizzati da alcuni operatori autostradali, mentre i valori più alti si riferiscono a parametri teorici utilizzati in alcuni studi di carattere universitario.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

### 3 GLI SCENARI VALUTATI

Al fine di dimensionare correttamente la barriera di esazione risulta necessario porsi nelle condizioni di traffico più impegnative che, nel caso in esame, corrispondono al Traffico Medio Estivo, così come individuato nel precedente paragrafo.

Sono stati presi in considerazione due riferimenti temporali, corrispondenti all'apertura del ponte ed a 15 anni, nel 2033; negli anni successivi si prevede una automazione sempre maggiore dei sistemi di pedaggio, con conseguente riduzione delle porte di esazione necessarie.

I flussi ipotizzati nei vari scenari sono pertanto i seguenti:

Fussi totali bidirezionali	2018	2033
Flusso totale annuale leggeri	3 970 768	5 336 955
Flusso totale annuale pesanti	1 343 475	1 805 712
TGM leggeri	12 809	17 216
TGM pesanti	4 334	5 825
Punta giornaliera media estiva leggeri	28 564	38 392
traffico locale	12 809	17 216
traffico turistico	15 755	21 176
Punta giornaliera media estiva pesanti	3 077	4 136
Punta oraria media estiva leggeri	2 662	3 578
traffico locale	1 537	2 066
traffico turistico	1 125	1 513
Punta oraria media estiva pesanti	246	331

Con il trascorrere degli anni il traffico annuale tende ad aumentare, ma nel contempo verranno sempre più incentivati sistemi di esazione automatizzati; pertanto si presume che le condizioni più sfavorevoli si determinino nei primi anni, poiché le barriere manuali sono quelle che risultano avere una capacità di gran lunga minore di tutte le altre.

Le elaborazioni sono state condotte distintamente per la direzione prevalente e per quella minore, sulla base della ripartizione dei flussi ipotizzata nel capitolo precedente (60% e 40%); i dati di riferimento sono i seguenti:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE</b>		<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Traffico totale ora media estiva di punta	2018		2033	
	Dir. prevalente	Dir. minore	Dir. prevalente	Dir. minore
Telepass	1.088	726	2.111	1.408
Automatica	364	243	117	78
Manuale	293	196	117	78
<b>TOTALE</b>	<b>1.745</b>	<b>1.165</b>	<b>2.345</b>	<b>1.564</b>

Dalle elaborazioni condotte è risultato che il numero minore di porte necessarie per ottenere i livelli di servizio richiesti **è pari ad 11, di cui TRE porte reversibili**; tale configurazione è in grado di gestire anche eventuali temporanei disservizi di una delle porte di esazione senza generare troppe criticità.

Le tipologie delle porte dovranno variare nel tempo in base al variare della ripartizione del sistema di pagamento degli utenti.

Le tipologie di porte previste sono le seguenti:

T	Telepass o simile
B	Bimodale (Telepass + Viacard)
A	Automatica (Viacard o simile)
M	Manuale

Nei paragrafi seguenti sono riportati gli schemi delle porte e le verifiche dei Livelli di Servizio nelle due direzioni di marcia per gli anni 2018 e 2033.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE		Codice documento SS0945_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

### 3.1 Anno 2018

#### Schema della barriera

A	B	T	M	M	M	M	M	T	B	A
↓	↓	↓	↓	↓↑	↓↑	↓↑	↑	↑	↑	↑

#### 3.1.1 Direzione prevalente

A	B	T	M	M	M	M	M	T	B	A
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑

#### Flussi di traffico:

Telepass	1.088
Automatica (Viacard / Carta)	364
Manuale	293
<b>TOTALE</b>	<b>1 745</b>

#### Verifica funzionale:

Tipologia	N° piste	Capacità	Flusso	F/C	LoS
Telepass (T)	1	1300	928	0.71	<b>C</b>
Bimodale (B)	1	500	331 <sup>4</sup>	0.66	<b>C</b>
Automatica (A)	1	270	193	0.71	<b>C</b>
Manuale (M)	3	480	293	0.61	<b>C</b>
<b>Totali</b>	<b>6</b>		<b>1745</b>		

<sup>4</sup> corrispondente a  $1088-928=160$  veicoli Telepass +  $364-193=171$  veicoli Viacard ( $160+171=331$ )

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE		<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3.1.2 Direzione minore

A	B	T	M	M	M		M	M	T	B	A
↓	↓	↓	↓	↓	↓		↑	↑	↑	↑	↑

#### Flussi di traffico:

Telepass	726
Automatica (Viacard / Carta)	243
Manuale	196
<b>TOTALE</b>	<b>1 165</b>

#### Verifica funzionale:

Tipologia	N° piste	Capacità	Flusso	F/C	LoS
Telepass (T)	1	1300	726	0,56	<b>C</b>
Bimodale (B)	1	500	50 <sup>5</sup>	0,10	<b>A</b>
Automatica (A)	1	270	193	0,71	<b>C</b>
Manuale (M)	2	320	196	0,61	<b>C</b>
<b>Totali</b>	<b>5</b>		<b>1165</b>		

L'utilizzo di porte bimodali riduce sensibilmente la capacità della pista, ma in questo caso risulta necessaria al fine di distribuire correttamente ed efficientemente i traffici Telepass e Carta evitando l'aggiunta di ulteriori porte; peraltro si può constatare come in entrambe le direzioni la porta bimodale sia quella meno utilizzata, per cui, anche se meno efficiente delle altre, sarà in grado di assolvere bene al suo compito di gestione delle punte critiche di traffico.

Dalle verifiche funzionali si evince che nel caso in esame sarebbe sufficiente prevedere una sola porta manuale reversibile al centro; si consiglia la soluzione con tre porte reversibili in quanto consente maggiore flessibilità in condizioni di traffico fortemente sbilanciato (situazione tipica dei periodi feriali estivi).

<sup>5</sup> corrispondente a  $726-726=0$  veicoli Telepass +  $243-193=50$  veicoli Viacard ( $0+50=50$ )

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE</b>		<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3.2 Anno 2033

#### Schema della barriera

A	T	T	T	M	M	M	T	T	T	A
↓	↓	↓	↓	↓↑	↓↑	↓↑	↑	↑	↑	↑

#### 3.2.1 Direzione prevalente

A	T	T	T	M	M	M	T	T	T	A
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑

#### Flussi di traffico:

Telepass	2.111
Automatica (Viacard / Carta)	117
Manuale	117
<b>TOTALE</b>	<b>2.345</b>

#### Verifica funzionale:

Tipologia	N° piste	Capacità	Flusso	F/C	<b>LoS</b>
Telepass (T)	3	3.900	2.111	0,54	<b>C</b>
Automatica (A)	1	270	117	0,43	<b>B</b>
Manuale (M)	2	320	117	0,37	<b>B</b>
<b>Totali</b>	<b>6</b>		<b>2.345</b>		

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE		<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3.2.2 Direzione minore

A	T	T	T	M	M		M	T	T	T	A
↓	↓	↓	↓	↓	↓		↑	↑	↑	↑	↑

#### Flussi di traffico:

Telepass	1.408
Automatica (Viacard / Carta)	78
Manuale	78
<b>TOTALE</b>	<b>1.564</b>

#### Verifica funzionale:

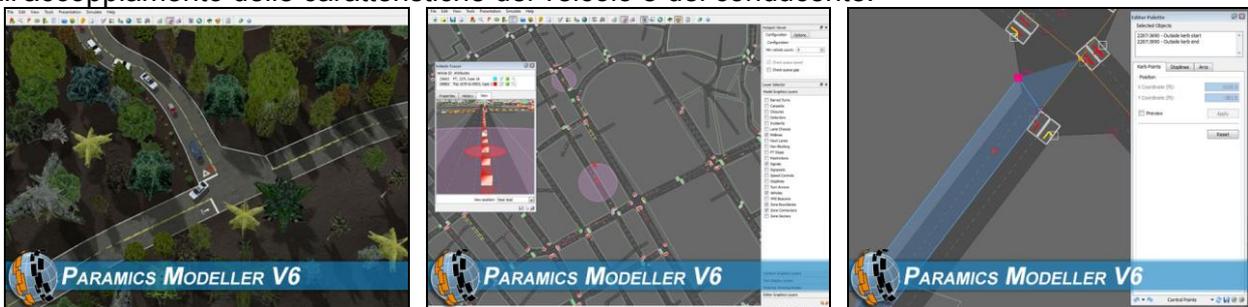
Tipologia	N° piste	Capacità	Flusso	F/C	<b>LoS</b>
Telepass (T)	3	3.900	1408	0,36	<b>B</b>
Automatica (A)	1	270	78	0,29	<b>B</b>
Manuale (M)	1	160	78	0,49	<b>B</b>
<b>Totali</b>	<b>5</b>		<b>1564</b>		

Anche in questo caso per quanto attiene all'utilizzo di tre porte reversibili valgono le considerazioni già riportate nello scenario del 2018, mentre nello scenario al 2033 non sono più necessarie le porte Bimodali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4 LA MICRO-SIMULAZIONE DINAMICA SU RETE COME STRUMENTO INNOVATIVO DI ANALISI DEL TRAFFICO E DI PIANIFICAZIONE

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.



I micro-simulatore 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 alla velocità desiderata, ma l'ambiente circostante (i veicoli precedenti, i veicoli adiacenti, la geometria della strada, i segnali stradali ed i semafori, gli ostacoli, ecc.) ne condiziona il comportamento.

La micro-simulazione dinamica del traffico fornisce una visione dinamica del fenomeno in quanto vengono considerate le caratteristiche istantanee del moto dei singoli veicoli; attraverso tali strumenti è possibile rappresentare più famiglie di spostamenti, ognuna caratterizzata da differenti parametri comportamentali (accelerazione, decelerazione, aggressività, tempo di reazione, ecc.) e da diverse tipologie di veicoli (velocità massima, dimensioni, prestazioni, ecc.).

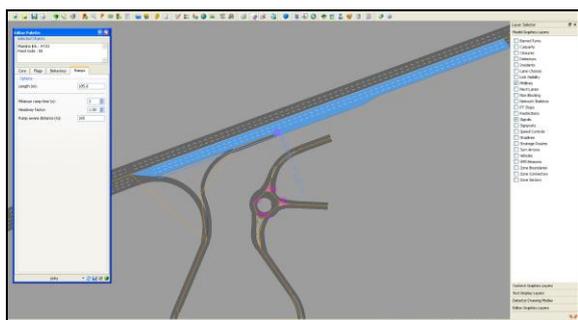
Il modello è in grado di evidenziare un'ampia serie di parametri che forniscono indicazioni relative al livello di prestazione della rete in generale e dei singoli componenti (flussi, velocità, ritardi, code, ecc.).

La micro-simulazione dinamica può essere correttamente applicata anche a reti infrastrutturali di tipo extraurbano sia stradale che autostradale. Tale strumento può rappresentare con estremo dettaglio e precisione reti molto estese rendendolo, pertanto, idoneo a qualsiasi tipo di applicazione.

E' possibile, infatti, simulare accuratamente quegli elementi che caratterizzano i sistemi tangenziali

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE		Codice documento SS0945_F0.doc	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rev</th> <th>Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						

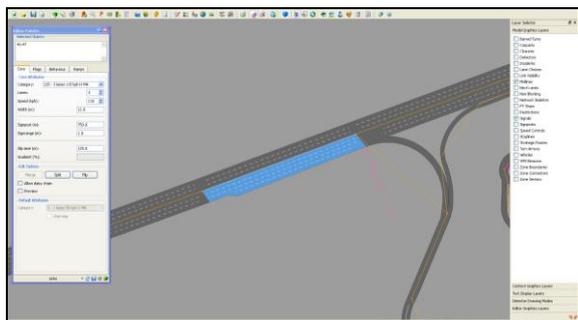
e autostradali quali, appunto, le corsie di accelerazione e decelerazione, le zone di scambio delle correnti veicolari, le barriere di esazione, ecc.. Tale strumento permette di valutare la funzionalità di svincoli autostradali anche estremamente complessi.



*Figura 4.1 – Costruzione di una rampa di accesso al sistema tangenziale (2D)*



*Figura 4.2 – Costruzione di una rampa di accesso al sistema tangenziale (3D)*



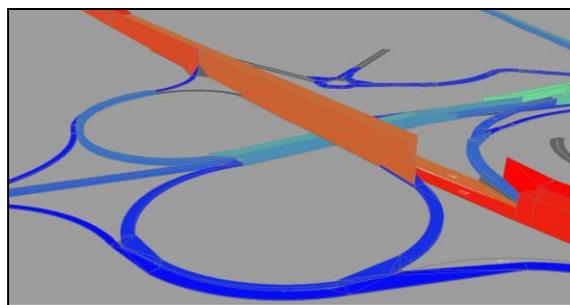
*Figura 4.3 – Costruzione di una rampa di uscita dal sistema tangenziale (2D)*



*Figura 4.4 – Casello autostradale (3D)*



*Figura 4.5 – Svincolo tangenziale: assegnazione del traffico*



*Figura 4.6 – Svincolo tangenziale: analisi delle simulazioni*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE</b>		<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4.1 APPLICAZIONE DELLA MICRO-SIMULAZIONE AL CASO DI STUDIO

L'applicazione della micro-simulazione è stata articolata secondo il seguente schema:

- definizione dell'area di studio;
- implementazione della rete infrastrutturale (offerta);
- definizione della domanda di traffico;
- definizione dei parametri di simulazione;
- definizione degli indicatori prestazionali della rete;
- implementazione del modello di simulazione;
- risultati della simulazione ed analisi degli indicatori prestazionali.

### 4.1.1 Definizione dell'area di studio

La porzione di rete implementata ai fini del presente studio riguarda la tratta siciliana di circa 5 chilometri che dal Ponte stesso si sviluppa fino alla barriera di esazione e poi prosegue per circa 290 metri a cielo aperto per entrare successivamente nella prima di una serie di gallerie.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	



Figura 4.7 – Area di studio

#### 4.1.2 Implementazione della rete infrastrutturale (offerta)

Il piazzale e la relativa barriera di pedaggio, oggetto del presente studio, trovano collocamento sul versante siciliano dell'infrastruttura, a circa 1.700 metri dall'inizio del Ponte.

Rispetto al piazzale di esazione, indicativamente orientato sull'asse est-ovest, verso est il tracciato si sviluppa completamente a cielo aperto con un grande raccordo curvilineo il cui sviluppo risulta di circa 1.500 metri e che si collega direttamente con il Ponte, la cui lunghezza complessiva è pari a circa 3.300 metri. Sul versante opposto, verso ovest, al termine del piazzale si sviluppa una breve tratta stradale di circa 290 metri che poi entra in galleria.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	Codice documento SS0945_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011



*Figura 4.8 – Piazzale in progetto*



*Figura 4.9 – Barriera di esazione*

Le tratte stradali sono state rappresentate a due corsie per senso di marcia, con larghezza delle corsie di 3,75 metri più corsia di emergenza.

La barriera di esazione è stata dimensionata con undici porte, di cui tre reversibili (vedi capitolo 3); tale configurazione consente di smaltire i flussi di traffico attesi anche nelle punte medie stagionali

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE		<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

garantendo un Livello di Servizio pari a “C” per le porte automatizzate e “D” per le porte manuali. Essa è in grado, inoltre, di gestire in modo efficiente sia eventuali disservizi di alcune porte, sia le punte stagionali eccezionali, tipicamente monodirezionali.

Lo schema e le tipologie di porte previsti al 2018, anno di prevista apertura del Ponte, sono i seguenti:

A	B	T	M	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	M	T	B	A
↓	↓	↓	↓	↓↑	↓↑	↓↑	↑	↑	↑	↑

dove la simbologia adottata è la seguente:

T	porta Telepass o simile
B	porta Bimodale (Telepass + Viacard)
A	porta Automatica (Viacard o simile)
M	porta Manuale

per un totale di:

- 2 piste ViaCard (A) poste alle estremità del piazzale;
- 2 piste bimodali Telepass + ViaCard (B) collocate a fianco delle piste ViaCard;
- 2 piste Telepass (T);
- 5 piste manuali (M), di cui 3 reversibili sistemate al centro della barriera.

La lunghezza totale del piazzale è pari a circa 250 metri.

#### 4.1.3 Definizione della domanda di traffico

All'interno del presente paragrafo si riassumono i dati di traffico utilizzati per la simulazione oggetto del presente studio e dettagliatamente descritti all'interno del capitolo 2.

Come già accennato, l'anno di riferimento per le simulazione condotte corrisponde a quello di presunta entrata in servizio della struttura (2018) in quanto, a titolo prudenziale si è ipotizzato che tale periodo risulti il più critico per la presenza di una significativa componente di traffico che

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

ancora utilizza sistemi di pagamento manuale; negli anni successivi si prevede un lento ma costante incremento dei sistemi di pagamento automatizzati, che richiedono la presenza di un numero inferiore di porte di esazione a parità di flusso di traffico.

Il flusso di traffico annuale stimato nel 2018 in entrambe le direzioni è pari a 5.314.243 veicoli totali, corrispondenti a 31.641 veicoli previsti durante la giornata di massima punta stagionale. Considerando una ripartizione dei traffici asimmetrica durante l'ora di punta giornaliera si ricavano i seguenti valori, poi utilizzati per la simulazione oggetto del presente studio:

- Direzione prevalente (60%): 1.745 veicoli orari
- Direzione minore (40%): 1.165 veicoli orari

Il flusso orario così individuato risulta però composto da un insieme disomogeneo composto da tipologie differenti di veicoli (leggeri e pesanti), differenti tipologie di utenti (sistematici ed occasionali o turisti) che utilizzano diversi sistemi di pagamento (Telepass, Viacard o manuale).

La ripartizione completa dei flussi simulati nel modello di micro-simulazione, risulta pertanto la seguente (per i dettagli si rimanda alla precedente verifica già citata):

Traffico totale ora media estiva di punta	Dir. prevalente		Dir. minore	
	Leggeri	Pesanti	Leggeri	Pesanti
Telepass	992	96	662	64
Automatica	320	44	213	30
Manuale	286	7	191	5
<b>TOTALE</b>	<b>1.598</b>	<b>147</b>	<b>1.066</b>	<b>99</b>

La direzione prevalente si scambia tra la mattina e la sera, in concomitanza con lo scambio di direzione delle porte reversibili, ulteriori dettagli verranno riportati nel paragrafo relativo all'implementazione del modello ed alla definizione degli scenari di simulazione.

#### 4.1.4 Definizione dei parametri di simulazione

Come già specificato nei paragrafi precedenti, i veicoli in transito alla barriera sono stati classificati sulla base di tre elementi:

- tipologia di veicolo (leggero o pesante)
- tipologia di utente (sistematico o occasionale)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE</b>	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- tipologia di pagamento (Telepass, Viacard o manuale)

Nel modello i veicoli sono stati classificati in varie categorie in funzione delle loro caratteristiche fisiche e cinematiche, nella successiva tabella si riportano i principali parametri utilizzati.

	Veicoli leggeri		Veicoli pesanti	
	 Auto medie	 Auto grandi	 Autocarri	 Autotreni
Lunghezza media	4,00	5,00	6,00	13,00
Larghezza media	1,60	1,60	2,30	2,50
Peso medio	0,80	0,90	2,50	8,00
Accelerazione massima	2,4	2,7	1,8	1,0
Decelerazione massima	4,3	4,7	3,9	2,5
Velocità massima	140	160	130	100
Velocità di crociera	100	130	90	80

La differenziazione tra utenti sistematici ed occasionali (inerente i soli veicoli leggeri) di fatto non comporta la presenza di tipologie differenti nel modello, ma è stata considerata esclusivamente al fine di stabilire una differente ripartizione degli utenti tra i vari sistemi di pagamento.

La ripartizione dei veicoli tra le varie tipologie di pagamento determina l'insorgenza di due condizioni:

1. la scelta della porta di esazione;
2. il tempo necessario per il pagamento.

Per la scelta della porta di esazione il modello si comporta nel modo seguente:

- gli utenti con pagamento manuale possono utilizzare esclusivamente le porte manuali, a prescindere dalle code esistenti;
- gli utenti con pagamento Viacard o altre carte possono indifferentemente utilizzare le porte Viacard dedicate, quelle manuali o le porte bimodali;
- gli utenti telepass possono utilizzare indifferentemente le porte Telepass o quelle bimodali.

All'interno del *range* di porte che un utente può utilizzare sulla base delle regole sopra stabilite, il modello utilizza un algoritmo stocastico per la scelta della porta sulla base di una componente minore di tipo casuale e di una componente prioritaria legata alla probabilità minima di attesa in

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE</b>		<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

coda e della posizione relativa del veicolo rispetto alla porta. In altri termini, un utente con pagamento manuale verrà indirizzato con maggior probabilità sulla porta manuale che in quell'istante presenta la coda più corta e che può raggiungere in funzione della sua posizione sul piazzale, ma la componente casuale della scelta può determinare comunque una scelta differente, sempre comunque tra le altre porte manuali raggiungibili; nel caso di un utente Viacard, il medesimo criterio verrà utilizzato considerando sia le porte Viacard che quelle manuali e bimodali, considerando però che, a parità di lunghezza della coda, la probabilità di attesa ad una porta manuale è di gran lunga superiore a quella di una porta Viacard. La componente casuale della scelta è legata alle osservazioni effettuate nei casi reali, dove si può constatare come i flussi di traffico non si distribuiscano mai in modo perfettamente "ottimale", ma - apparentemente in modo inspiegabile e casuale - alcune code risultano più lunghe di altre.

Anche il tempo necessario per espletare il pagamento del pedaggio è una componente differente per ciascun utente e che rientra in una curva Gaussiana di distribuzione delle probabilità all'interno di un intervallo valutabile attraverso delle osservazioni sul campo. Nel modello implementato, i valori limite della curva di distribuzione dei tempi di pagamento, sulla base dei quali viene stabilito statisticamente il tempo di arresto al casello del singolo veicolo, risultano i seguenti:

<b><i>Tipo di porta</i></b>	<b><i>Perditempo minimo</i></b>	<b><i>Perditempo massimo</i></b>
<i>Telepass</i>	0 (velocità di transito <20 km/h)	0 (velocità di transito <20 km/h)
<i>Automatica</i>	10 sec	20 sec
<i>Bimodale</i>	0 ÷ 10 sec	0 ÷ 20 sec
<i>Manuale</i>	20 sec	30 sec

In altri termini, gli utenti Telepass rallentano ma non si fermano, tutti gli altri si fermano per un tempo stabilito sulla base dei valori limite sopra riportati.

Ovviamente il modello considera realisticamente anche gli spazi di decelerazione/accelerazione, differenti a seconda della tipologia di veicolo.

Per quanto concerne le velocità massime di percorrenza, sono stati prudenzialmente ipotizzati i seguenti limiti:

- infrastruttura stradale e Ponte (veicoli leggeri)                      130 km/h
- infrastruttura stradale e Ponte (veicoli pesanti)                      110 km/h
- piazzale antistante la barriera (veicoli leggeri)                      50 km/h

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE</b>		<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- piazzale antistante la barriera (veicoli pesanti)                      40 km/h
- porte telepass (veicoli leggeri)    20 km/h
- porte telepass (veicoli pesanti)    15 km/h

Anche in questo caso il modello simula un comportamento realistico degli utenti, per cui tali velocità costituiscono dei valori di riferimento medio, ma a ciascun conducente il modello attribuisce una propria velocità di crociera sulla base di una curva di distribuzione delle velocità.

#### **4.1.5 Definizione degli indicatori prestazionali della rete**

La valutazione dello scenario simulato può essere condotta sulla base di due distinte analisi:

1. valutazione visiva della realtà virtuale simulata (on-line);
2. valutazione analitica dei parametri prestazionali della rete (off-line).

La prima analisi viene condotta durante la simulazione dinamica, poiché il modello visualizza in animazione il transito dei veicoli ed è possibile immediatamente verificare l'eventuale insorgenza di code alla barriera. Tale rappresentazione, pur essendo di estrema utilità ed immediatezza, non può essere riportata in relazione in quanto necessita di un filmato in animazione; in allegato al presente documento viene riportato un CD contenente il video in cui sono stati acquisiti alcuni minuti significativi di simulazione.

La valutazione analitica viene effettuata al termine della micro-simulazione; il modello è in grado di fornire una serie di parametri prestazionali della rete, tra cui i maggiormente significativi per il caso in esame sono:

- lunghezza massima della coda sul piazzale;
- lunghezza massima della coda esplicitata per singola porta;
- numero di passaggi esplicitato per singola porta;
- ritardo medio alla barriera di esazione;

La lunghezza massima della coda rilevata dal modello risulta quella determinata dalla posizione del veicolo che durante la simulazione si è trovato più lontano dalla barriera nelle seguenti condizioni:

1. la sua velocità risultava inferiore a 10 km/h;
2. la distanza dal veicolo precedente era inferiore a 10 metri.

Quando entrambe le condizioni sono verificate il modello segnala che il veicolo è in coda.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Il numero di passaggi indica la quantità di veicoli transitati su ciascuna porta durante il periodo di simulazione; tale fattore dipende dalla posizione della pista, dal perditempo, ecc..

Il ritardo medio percentuale (PTD) indica l'incremento di tempo necessario ai veicoli per percorrere un determinato arco nelle condizioni di traffico simulate rispetto al tempo impiegato in assenza di traffico. Questo parametro è un indicatore prestazionale complessivo utile per valutare la qualità della soluzione progettuale individuata.

#### **4.1.6 Implementazione del modello di micro-simulazione**

Per l'implementazione del modello di micro-simulazione dinamica del traffico è stata costruita la rete infrastrutturale della viabilità dell'area oggetto di studio. Sono state inoltre codificate nel dettaglio tutte le caratteristiche geometriche e funzionali della barriera di esazione in progetto, così come specificato nei paragrafi precedenti.

Per l'assegnazione dei flussi di traffico nel modello sono state implementate 2 zone di Origine/Destinazione del traffico:

- Zona 1 – versante siciliano, che genera flussi verso la Calabria;
- Zona 2 – versante continentale, che genera flussi verso la Sicilia.

Entrambe le zone sono state posizionate distanti dall'infrastruttura, al fine di garantire una sufficiente porzione di rete non influenzata dalla presenza della barriera e consentire ai veicoli di raggiungere le velocità di crociera e distribuirsi correttamente sulle due corsie di marcia.

Le simulazioni sono state condotte per un intervallo di due ore, la prima delle quali ha il solo compito di pre-caricare la rete per evitare che i primi minuti di simulazione dell'ora di punta non siano significativi, la seconda ora costituisce l'ora di punta del traffico ed è quella su cui sono state effettuate tutte le valutazioni prestazionali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE		Codice documento SS0945_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011



Figura 4.10 – Rete simulata

Lo scenario preso in considerazione nella simulazione corrisponde a quello maggiormente penalizzante in cui il traffico prevalente risulta orientato dalla Sicilia verso la Calabria; in queste condizioni l'eventuale insorgenza di code potrebbe estendersi oltre il piazzale ed occupare la galleria antistante, condizione di pericolo che si vuole evitare in condizioni ordinarie.

Tale scenario è stato indicato come **Scenario 1**; il traffico prevalente è orientato dalla Zona 1 (Sicilia) alla Zona 2 (Calabria) e le porte di pedaggio assumono la seguente configurazione:

*Direzione del flusso prevalente (dalla Sicilia verso la Calabria)*

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>T</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑

*Direzione del flusso minore (dalla Calabria verso la Sicilia)*

A	B	T	M	M	M	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>T</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑

Giova evidenziare come tale scenario costituisca già una verifica del tutto prudente, in quanto le ipotesi alla base delle previsioni di traffico di punta derivano da ipotesi cautelative.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE		<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

A titolo puramente informativo si comunica che in fase di elaborazione del modello di micro-simulazione è stato implementato anche lo scenario con direzione prevalente opposta (in cui cioè il traffico prevalente risulta orientato dalla Calabria verso la Sicilia) al fine di verificare che effettivamente tale situazione determina dal lato della galleria una lunghezza massima delle code inferiore a quella dello scenario precedente. I risultati della simulazione di tale scenario non vengono riportati nella presente relazione, ma si conferma quanto previsto.

Al fine di analizzare il comportamento della barriera di esazione anche in condizioni di parziale anomalia, è stato preso in considerazione un ulteriore **Scenario 2** in cui è stata simulata la presenza di veicoli non dotati di dispositivo Telepass che con frequenza statisticamente distribuita con una media di una unità ogni 30 minuti bloccano per errore la corsia Telepass.

Giova altresì osservare come la configurazione simulata prevede che una sola delle tre porte manuali reversibili venga ribaltata nei giorni di punta ordinaria, ma la predisposizione alla reversibilità delle altre due porte è stata prevista per tenere in considerazione eventuali eventi eccezionali che possono determinarsi o in presenza di temporanei disservizi di alcune porte, oppure in condizioni di traffico di punta eccezionali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4.2 RISULTATI DELLA MICRO-SIMULAZIONE ED ANALISI DEGLI INDICATORI PRESTAZIONALI

### 4.2.1 Scenario 1

La Figura 4.11 rappresenta la traccia delle code massime di accumulo presso la barriera di pedaggio riscontrate durante l'intero periodo di simulazione; come si evince dalla figura, l'occupazione del piazzale risulta limitata e rimangono ampi margini di sicurezza.

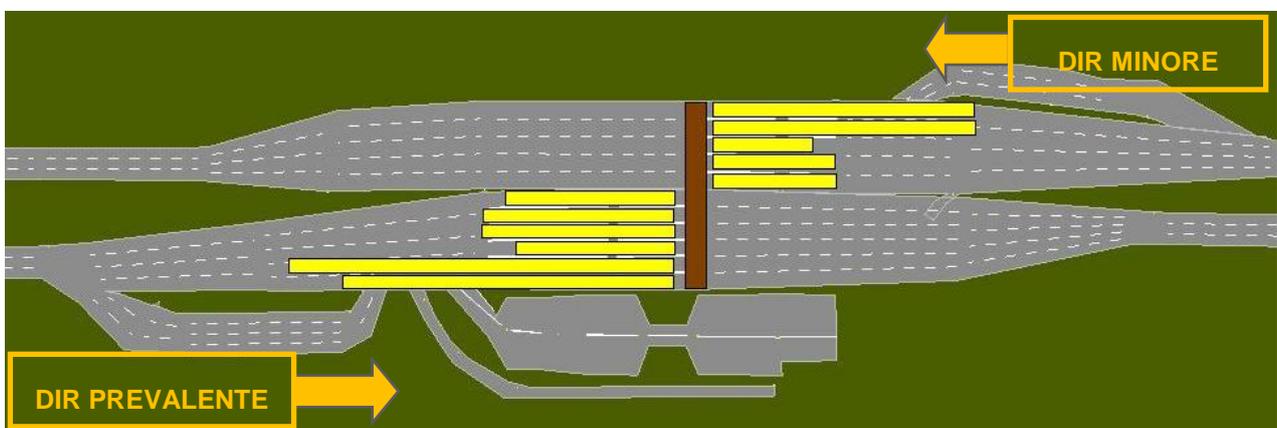


Figura 4.11 – Scenario 1: code massime simulate

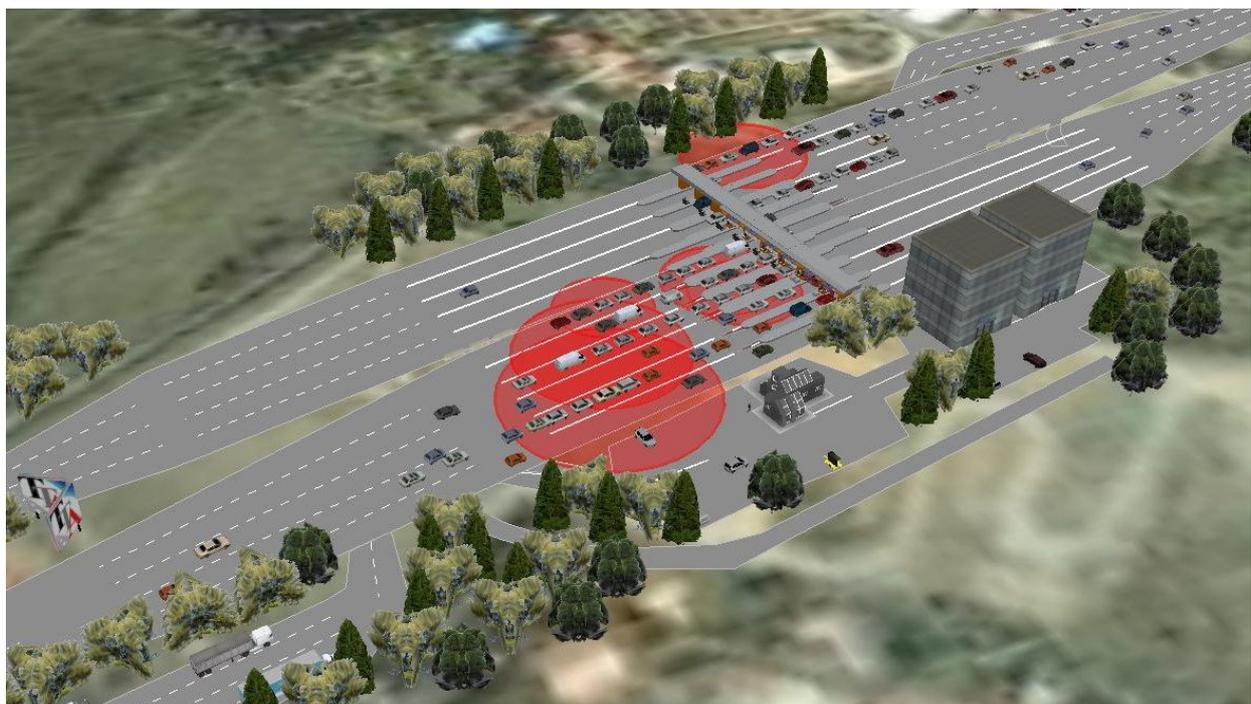


Figura 4.12 – Scenario 1: istantanea della simulazione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Nella precedente Figura 4.12 è rappresentato un istante della simulazione durante il quale sono visibili i veicoli accodati in attesa di effettuare il pagamento presso le rispettive piste.

Le code si sviluppano per un massimo di 140 metri sul lato ovest (Sicilia – direzione Calabria) e per circa 90 metri nella direzione opposta. È importante evidenziare come le code massime lungo la direzione prevalente non siano tali da causa fermate impreviste ai veicoli nella tratta in galleria: il piazzale è in grado di accogliere tutti i veicoli in arrivo alla barriera.

Di seguito si riportano, sulla base della simulazione condotta per ciascuna porta nel corso dell'ora di punta, il numero di passaggi e la lunghezza massima della coda simulati:

<i><b>Direzione prevalente</b></i>	<i><b>Transiti</b></i>	<i><b>Lunghezza max della coda</b></i>
Porta automatica	215 veicoli	120 m
Porta bimodale	311 veicoli	140 m
Porta Telepass	942 veicoli	50 m
Porta manuale 1	98 veicoli	70 m
Porta manuale 2	120 veicoli	70 m
Porta manuale 3	101 veicoli	60 m

<i><b>Direzione minore</b></i>	<i><b>Transiti</b></i>	<i><b>Lunghezza max della coda</b></i>
Porta automatica	187 veicoli	90 m
Porta bimodale	306 veicoli	90 m
Porta Telepass	501 veicoli	30 m
Porta manuale 1	96 veicoli	40 m
Porta manuale 2	101 veicoli	40 m

Il ritardo medio accumulato da ciascun veicolo nei pressi della barriera di esazione risulta essere pari a 29 secondi lungo la direzione minore ed a 43 secondi lungo quella prevalente.

Il filmato che rappresenta la micro-simulazione dinamica è disponibile sul CD col nome 10\_015\_Scenario01\_01.mov.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 4.2.2 Scenario 2

Nel presente scenario è stata effettuata una simulazione nelle medesime condizioni di quelle precedentemente descritte, in presenza di veicoli non dotati di dispositivo Telepass che con frequenza statisticamente distribuita con una media di una unità ogni 30 minuti bloccano per errore la corsia Telepass per la durata di un minuto (il tempo medio necessario ad un operatore per rilevare l'anomalia e sbloccare la sbarra).

Le successive Figura 4.13 e Figura 4.14 mostrano la localizzazione e l'orario al quale si sono verificati gli imprevisti simulati per ciascuna direzione.

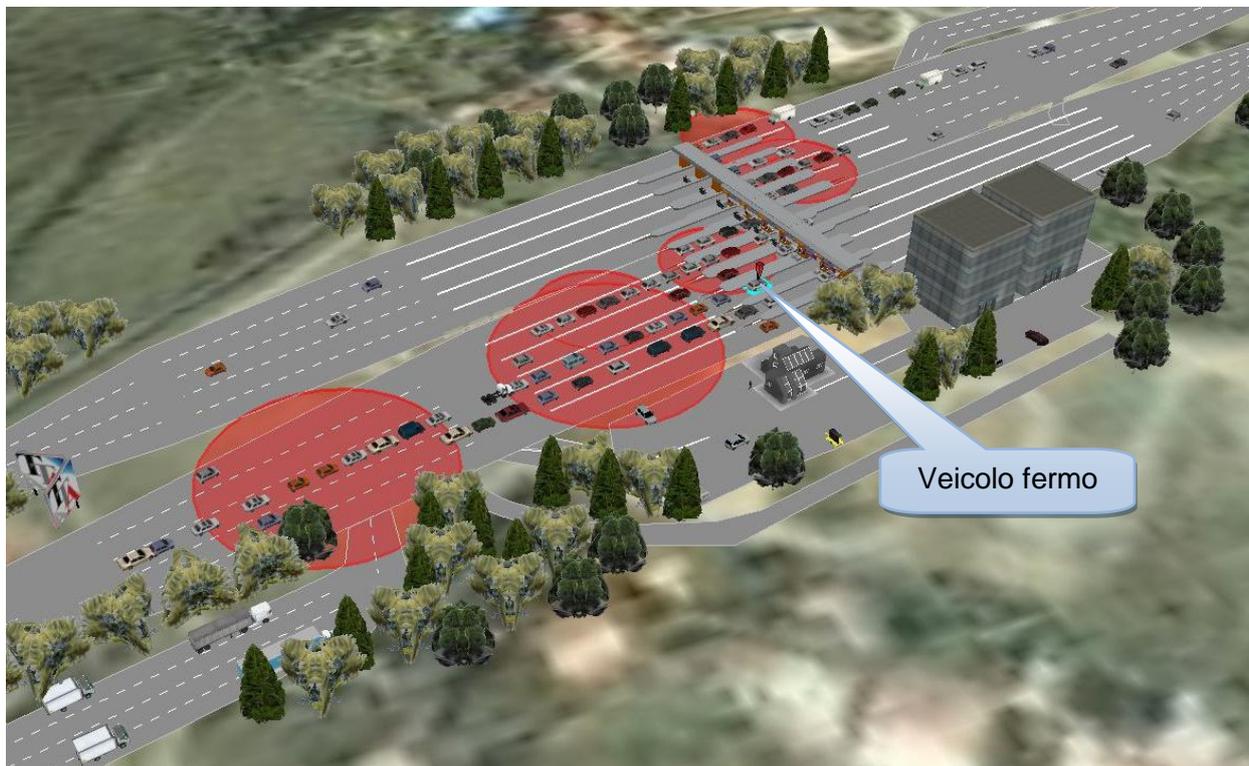


Figura 4.13 – Scenario 2: istantanea del veicolo fermo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	Codice documento SS0945_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011	

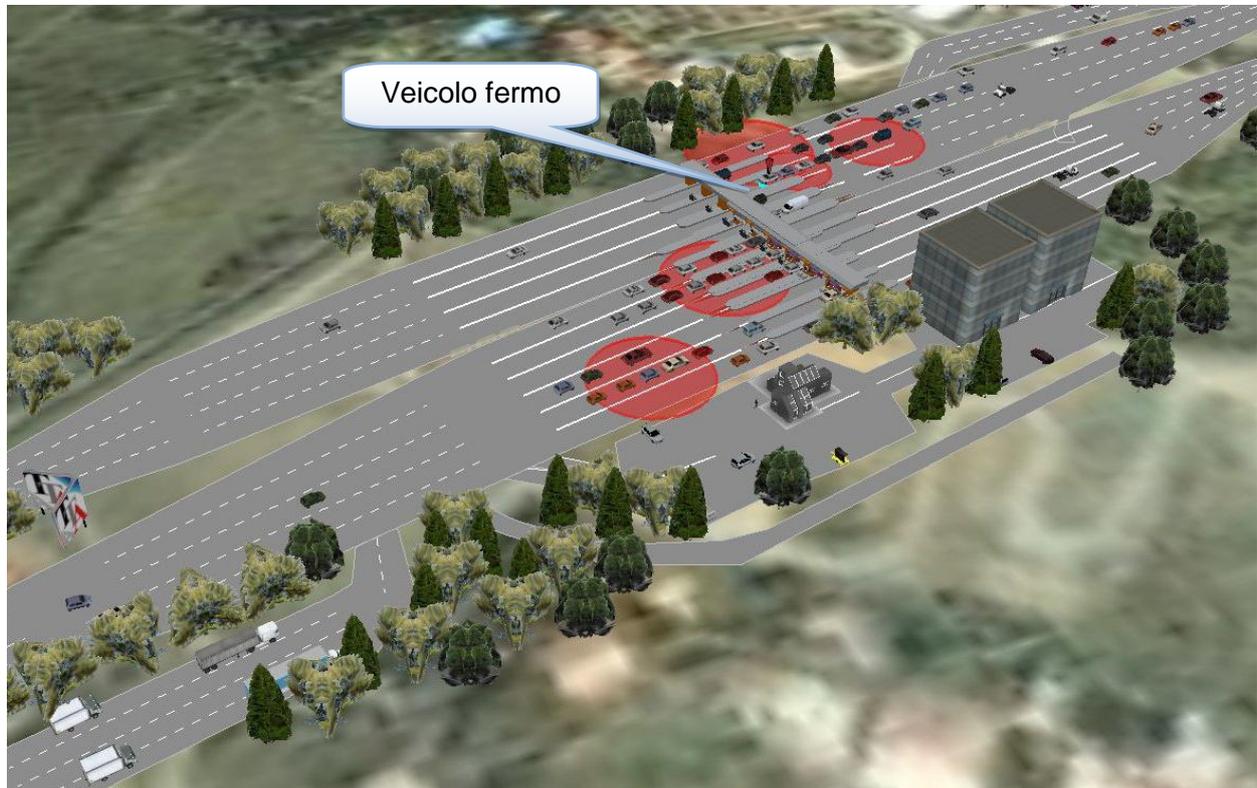


Figura 4.14 – Scenario 2: istantanea del veicolo fermo

Lo scenario mostra le conseguenze che tale blocco temporaneo provoca sulla coda. La successiva Figura 4.15 indica lo sviluppo delle code massime simulate durante il blocco temporaneo.

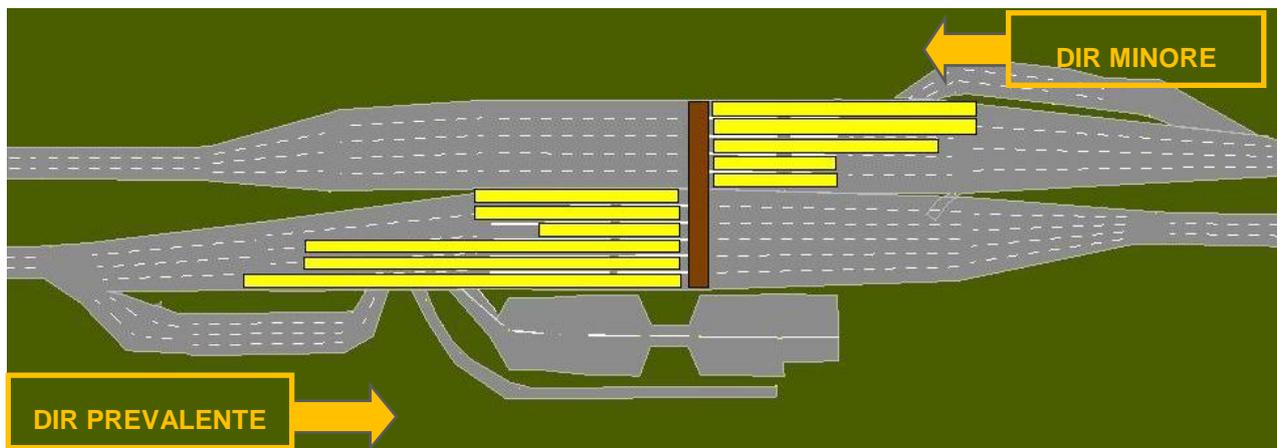


Figura 4.15 – Scenario 2: code massime simulate

La lunghezza della coda massima registrata in direzione Calabria è pari a 170 metri, di circa 10 metri superiore rispetto allo scenario senza blocchi. Anche in direzione opposta si registrano

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE</b>		<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

incrementi delle code massime che in questo scenario arrivano a superare i 90 metri.

Si segnala come gli incrementi interessino principalmente le piste Telepass, dove si sono simulati gli imprevisti, e le piste bimodali, dove si ridistribuiscono i veicoli che non riescono più ad usufruire della pista impegnata.

Analogamente a quanto riportato per lo scenario 1, di seguito sono indicati i valori relativi al numero di passaggi ed alla lunghezza delle code massime per ciascuna corsia.

<b>Direzione prevalente</b>	<b>Transiti</b>	<b>Lunghezza max della coda</b>
Porta automatica	217 veicoli	150 m
Porta bimodale	343 veicoli	140 m
Porta Telepass	902 veicoli	140 m
Porta manuale 1	99 veicoli	40 m
Porta manuale 2	109 veicoli	60 m
Porta manuale 3	116 veicoli	60 m

<b>Direzione minore</b>	<b>Transiti</b>	<b>Lunghezza max della coda</b>
Porta automatica	201 veicoli	90 m
Porta bimodale	331 veicoli	90 m
Porta Telepass	465 veicoli	75 m
Porta manuale 1	87 veicoli	40 m
Porta manuale 2	101 veicoli	40 m

Come già per lo scenario 1, anche in questo caso si è ricavato il ritardo medio in prossimità della barriera di esazione. Nonostante la presenza degli imprevisti che caratterizzano questo secondo scenario, i valori del ritardo medio si mantengono prossimi ai valori registrati nello scenario 1: 44 secondi nella direzione prevalente e 32 in quella opposta.

Il filmato sul CD ha nome 10\_015\_Scenario02\_01.mov.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 4.2.3 Confronti

Vengono di seguito riportati i diagrammi rappresentativi dell'andamento, durante l'ora di simulazione, di alcuni parametri prestazionali calcolati sulla rete. Tali parametri fanno riferimento, per ogni minuto di simulazione, alla velocità media istantanea dei veicoli ed al numero di veicoli contemporaneamente presenti sulla rete.

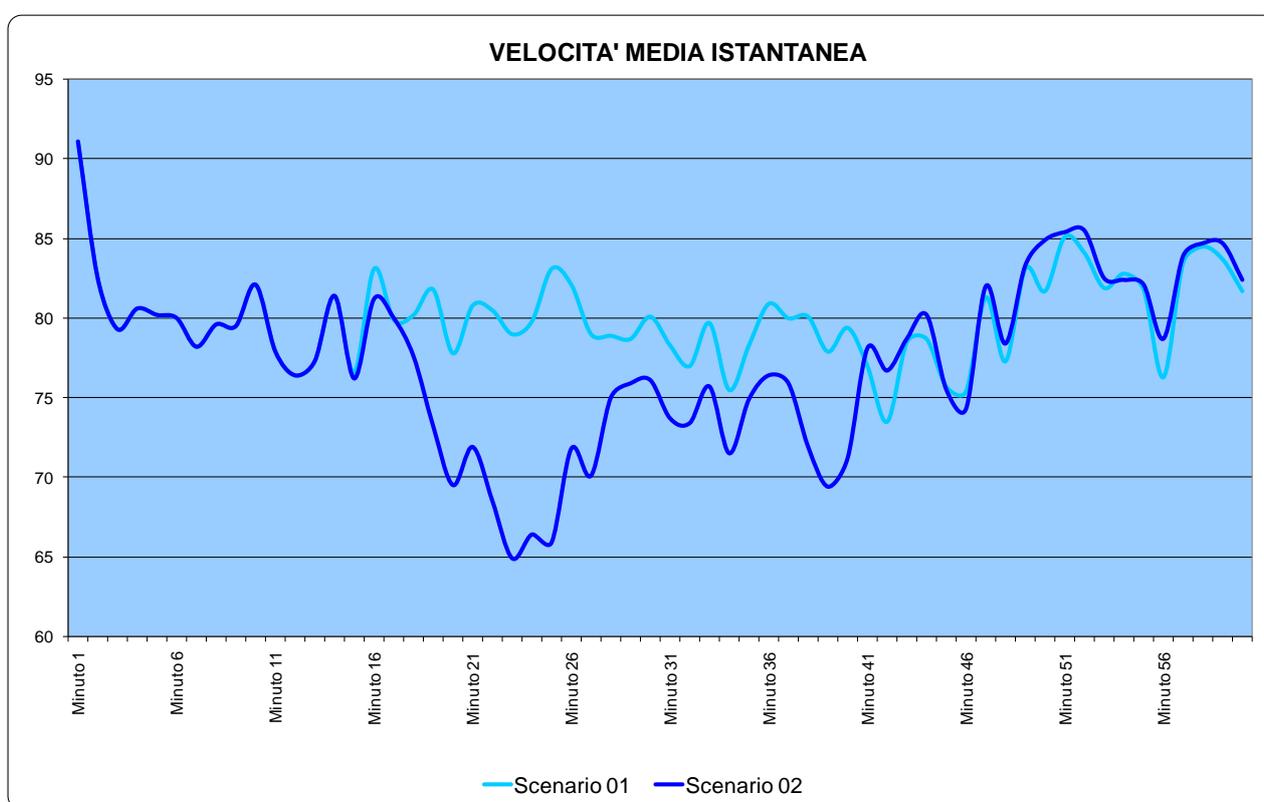


Figura 4.16 – Velocità medie istantanee nei due scenari

Il grafico rappresentato in Figura 4.16 riporta la velocità media istantanea di tutti i veicoli presenti sulla rete, ottenuto per ogni minuto di simulazione; dall'analisi di questo parametro emerge come le velocità medie istantanee siano più o meno costanti durante tutta l'ora di simulazione e non presentino marcati fenomeni di instabilità: questo significa che durante tutto il periodo della simulazione non si verificano fenomeni di congestione tali da provocare rallentamenti degni di nota a carico del flusso veicolare. Il confronto tra i due scenari evidenzia come nello scenario 2 la presenza al 17° ed al 40° minuto di simulazione di anomalie sulla porta telepass comporti un decadimento temporaneo delle velocità medie; tale decadimento prestazionale viene comunque riassorbito in tempi rapidi.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Il grafico riportato in Figura 4.17 mostra il numero di veicoli contemporaneamente presenti sulla rete per ogni minuto della simulazione. Questo parametro permette di valutare il grado di congestione di una rete, stante il fatto che maggiore è il numero di veicoli presenti in un dato istante, maggiore risulterà la densità e la congestione sulla rete stradale. Dal grafico riportato si può constatare come il numero dei veicoli contemporaneamente presenti sulla rete rimanga anch'esso pressoché costante e, soprattutto, non tenda ad aumentare indefinitamente: ciò dimostra come durante il periodo simulato le code vengano costantemente e regolarmente smaltite.

Anche in questo caso, il confronto tra i due scenari evidenzia come nello scenario 2 la presenza delle anomalie provochi un leggero incremento dei veicoli sul piazzale, ma il fenomeno viene riassorbito in tempi rapidi.

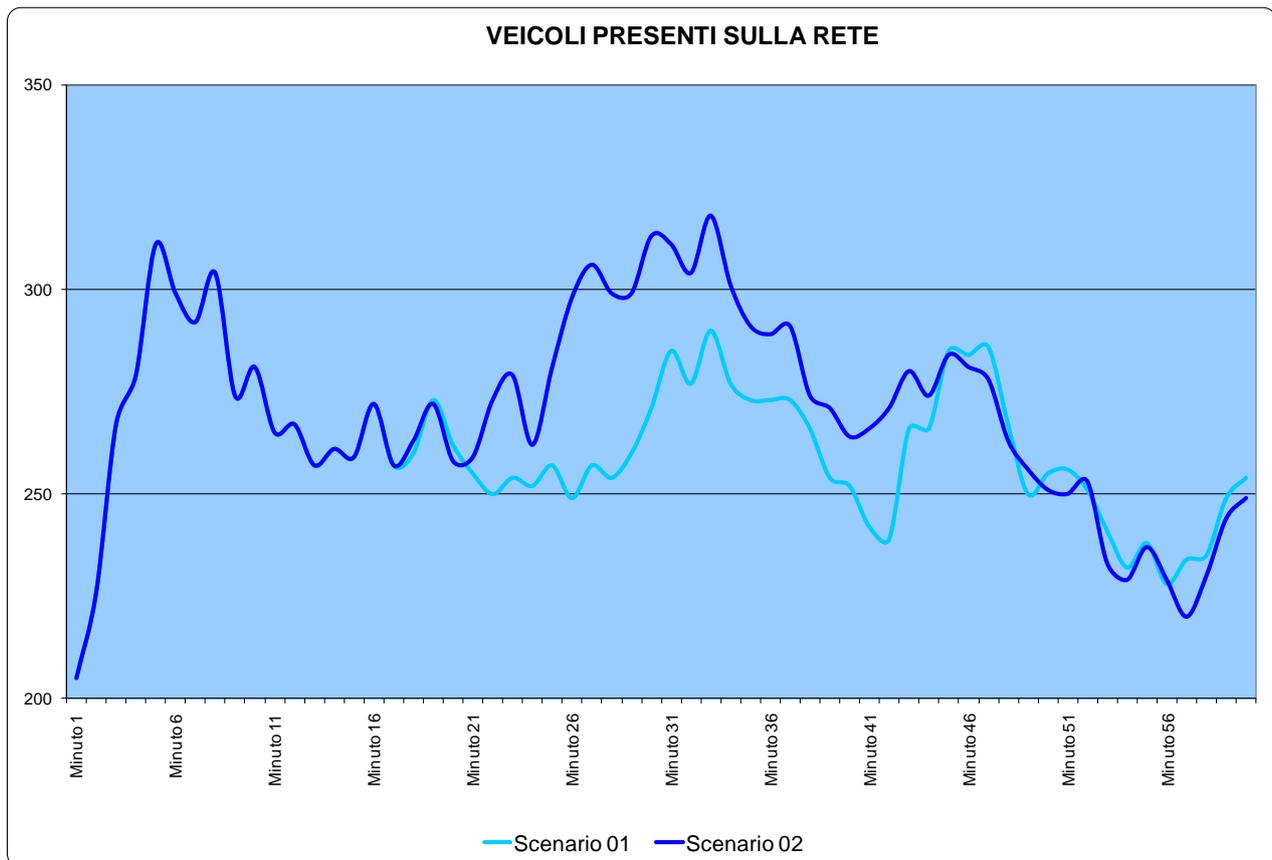


Figura 4.17 – Veicoli istantanei presenti sulla rete nei due scenari

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE	<i>Codice documento</i> SS0945_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 5 CONCLUSIONI

Si può constatare che in tutti gli scenari verificati, con le ipotesi assunte, i Livelli di Servizio minimi prescritti siano garantiti. La presenza di tre porte manuali reversibili consente di gestire in modo efficiente sia eventuali disservizi che le punte stagionali eccezionali, tipicamente monodirezionali.

Tuttavia giova evidenziare come alcune ipotesi di base, pur risultando conformi a quelle assunte nel progetto preliminare, potrebbero essere oggetto di ulteriori approfondimenti.

Si può inoltre osservare come attraverso la micro-simulazione, con le ipotesi assunte, la barriera di pedaggio risulti correttamente dimensionata sia in termini di numero e tipologie di porte di esazione, sia in termini di spazi di accumulo della coda; in condizioni di traffico medio della punta estiva, anche in presenza di eventuali anomalie quali temporanea occupazione della porta telepass, i principali parametri prestazionali rimangono buoni e la lunghezza massima delle code rimane limitata e non interferisce con la vicina galleria né, tantomeno, con il Ponte stesso.