



**GESTIONE DELLE INFRASTRUTTURE
AUTOSTRADALI NELL'EMERGENZA: INDAGINE
SPERIMENTALE SU DI UN TRONCO DELLA A3
PRIVO DI SCAMBI DI CARREGGIATA**

Filippo G. Praticò

Dipartimento di Informatica, Matematica, Elettronica e Trasporti
Università Mediterranea di Reggio Calabria– Via Graziella–Feo di Vito 89100–
Reggio Calabria– Italy
Tel: +39.0965.875230
Fax: +39.0965.875247
E-mail: fpratico@ing.unirc.it

GESTIONE DELLE INFRASTRUTTURE AUTOSTRADALI NELL'EMERGENZA: INDAGINE SPERIMENTALE SU DI UN TRONCO DELLA A3 PRIVO DI SCAMBI DI CARREGGIATA

FILIPPO G. PRATICÒ, Dipartimento D.I.M.E.T. - Università di Reggio Calabria

SOMMARIO

Lo scenario italiano dei trasporti su gomma in autostrada si caratterizza per la presenza di ricorrenti fenomeni di squilibrio tra la domanda di mobilità sicura, soddisfacente ed affidabile e l'offerta infrastrutturale.

Tali circostanze acquisiscono rilievo peculiare in caso di emergenze, in relazione tanto alle dinamiche evolutive sociali, economiche ed industriali che alle prioritarie istanze di protezione civile ed ambientale.

Alla luce di tali esigenze, spesso avvertite e condivise anche presso le competenti sedi istituzionali, si è effettuata una preliminare analisi di tali problemi con riferimento alle specificità della Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria; ciò ha consentito l'individuazione di un tronco della stessa infrastruttura caratterizzato dalla assenza di scambi di carreggiata su di una cospicua tratta chilometrica.

In virtù, allora, della impossibilità di procedere, specie in caso di interruzione dei flussi di durata elevata, alla adozione localizzata delle consuete tecniche di scambio di carreggiata, sono stati analizzati tanto lo spettro delle relative emergenze che quello delle possibili corrispondenti terapie.

Per ognuna delle ipotesi, si è effettuato uno specifico studio modellistico.

Esso è stato supportato da indagini sperimentali in sito, per la calibrazione del modello ed il rilievo di alcuni dei parametri di trasporto necessari per l'applicazione degli algoritmi formalizzati.

In tal modo si è resa possibile la determinazione di alcuni indicatori della qualità del servizio reso agli utenti nelle condizioni di emergenza.

Le indagini sperimentali effettuate e gli algoritmi formalizzati hanno consentito, da ultimo, la proposizione di un primo insieme di possibili interventi, talvolta di ridotto impegno finanziario, nell'ottica della pratica minimizzazione dei rischi e della ottimizzazione della risposta in condizioni di emergenza.

ABSTRACT

This paper deals with the management of road networks in emergency.

A particular zone of A3 ruralway is considered, that is running near Bagnara Calabria and Scilla, in the extreme South of Italy. Risk analysis has been effected in relation to the possibility of emergency occurring in a A3-zone without connections between North and South carriageway. Road network just around the ruralway has been considered.

Same models have been formalized, concerning the flows in transitory periods just after the emergency. Then same experimental surveys have been designed and carried on, dealing with flows and road maintenance.

Finally, cost functions, concerning time performance for road users, have been determined for all the proposed solutions. So strategies for road performance improvement and road users management in emergency have been analysed and proposed.

1. PREMESSE

Come ben noto, la Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria attraversa la Calabria in corridoio Ovest e riveste un ruolo strategico nei collegamenti Sud-Nord, poiché infrastruttura di maggior rilievo ad assolvere tale imprescindibile funzione connettiva.

A fronte di tale importanza ed al riconosciuto elevato valore storico della relativa impostazione e concezione progettuale, essa si caratterizza per standard progettuali, esecutivi e manutentivi che spesso non costituiscono ad oggi risposta adeguata alla domanda di mobilità (regionale, nazionale ed europea) rapida, sicura ed affidabile.

Il problema, che è assolutamente consueto, specie per infrastrutture realizzate in epoche non recenti in contesti orograficamente così peculiari, concerne, in particolare, le performance strutturali (portanza, stato dei manufatti), funzionali e di traffico.

Esso è congiunto ai prevedibili processi di decadimento, alla limitatezza delle risorse umane e finanziarie, agli incrementati carichi di traffico, alle maturate e diversificate concezioni progettuali (geometria, arredo, sovrastruttura compresi), nonché all'innalzamento del grado di prestazione richiesta dall'Utenza (livello di servizio, comfort di guida, sicurezza, etc.).

Ciò può comportare, in particolari circostanze di emergenza, peculiari fenomeni di crisi nella circolazione e di decadimento repentino del livello di servizio e della sicurezza intrinseca.

Pur essendo auspicabile il ricorso ad ingenti risorse finanziarie per l'ammodernamento radicale di rete, è, però, ben comprensibile che una simile terapia è innegabilmente vincolata alla "limitatezza" delle risorse nazionali ed europee e che specifici studi devono essere orientati all'ottimizzazione "a costi ridotti" ed alla prevenzione e mitigazione attraverso un'oculata, informata e rinnovata tecnica di gestione dell'esistente.

In tale ottica, in un contesto sociale e "mediatico" caratterizzato dalla ridotta attitudine a fronteggiare psico-tecnicamente le emergenze, si è avvertita l'esigenza di esaminare la A3 con riferimento a specifiche classi di criticità inerenti a situazioni di emergenza. Si è in tal modo resa possibile l'individuazione di una tratta autostradale situata tra le località di Bagnara Calabria e Scilla (Cfr. Fig.1), nel comprensorio provinciale di Reggio Calabria. Essa risulta caratterizzata da:

- estensione chilometrica cospicua;
- assenza di scambi di carreggiata, dunque impossibilità di comportamento localizzato "iperstatico" (deviazione "puntuale" su carreggiata opposta) in caso di interruzione di una carreggiata;
- elevata percentuale di opere d'arte (gallerie e viadotti);
- cospicua importanza strategica nel quadro provinciale, regionale, nazionale ed europeo degli scambi commerciali e delle comunicazioni terrestri in generale (unica arteria stradale a scorrimento veloce di connessione verso il "corpo" della Penisola italiana dalla Regione Sicilia e parte della Provincia reggina).

Al fine di fornire risposte concrete al problema della risoluzione di eventi-emergenza tali da compromettere le regolari condizioni di deflusso nella tratta considerata, è risultata necessaria, a monte dei rilievi sperimentali, l'elaborazione di un'analisi modellistica dello spettro delle emergenze significative e delle relative "contro-misure". Per affrontarla con adeguata conformità ai vincoli legislativi, orografici e di "politica infrastrutturale", si sono rese preliminarmente opportune:

- l'analisi del quadro normativo di pertinenza (Cfr. Tab.1);

- la disamina dell'interferenza con il problema dell'assenza di un catasto delle strade [1];
- la caratterizzazione geometrico-funzionale [2, 3] delle tratte interessate e l'analisi della dipendenza degli effetti dal contesto geometrico (tipologia delle sezioni, etc.);
- l'interpretazione dei fenomeni in termini di eventi concernenti il dominio di pertinenza della protezione civile.



Figura 1 - Area vasta di pertinenza del tronco della A3 SA-RC privo di scambi di carreggiata

Tabella 1 - Quadro normativo	
<i>L 144/99</i>	Piano nazionale della sicurezza stradale
<i>L. 13.06.91 n.190, D Lgs 30.4.92 n.285 e D Lgs 10-9-93 n.360</i>	Nuovo codice della strada (Artt.21, etc)
<i>DPR 16.12.92 n. 495</i>	Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada (artt.30-43, etc.)
<i>BU CNR n.78/80, BU CNR n.125/88, CNR bozza/2001</i>	Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade extraurbane; Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale; Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, 2001.
<i>ADR 30.09.57, L.12.08.62 n.1839, DM11.08.80, Dir 2001/26/CE 07.05.01,</i>	Emanazioni legislative in materia di trasporto di merci pericolose su strada.
<i>Dlgs494/96, D.Lgs 626/94, DLgs 493/96</i>	Norme varie in materia di sicurezza sui luoghi di lavoro; Attuazione direttiva 92/57/CEE concernente le prescrizioni minime di sicurezza e di salute da attuare nei cantieri temporanei o mobili; Tutela salute lavoratori; segnaletica di sicurezza;

2. ANALISI E MODELLAZIONE DEL PROBLEMA

Per effetto dell'evento indesiderato E, nella tratta autostradale in questione (A3 tra i Km 424 e 416 c.a), saranno presenti, anche in funzione delle relative terapie j, disagi $D_j(E)$ per l'Utenza e la Comunità tutta, valutati attraverso specifici indicatori $I_i(E)$:

$$D_j(E)=(I_1(E), I_2(E), \dots, I_n(E)).$$

La corretta e realistica determinazione di $D_j(E)$ risulta vincolata all'analisi della interferenza tra i singoli eventi possibili e le relative misure adottabili nell'ottica della minimizzazione dei disagi resi all'utenza.

Dalla conoscenza di $D_j(E)$, cioè delle performance associabili alla terapia, per esempio, j per l'evento E , può discendere, oltre che un giudizio sintetico sulla terapia, un quadro di azioni preliminari necessarie (Cfr. Fig. 2).

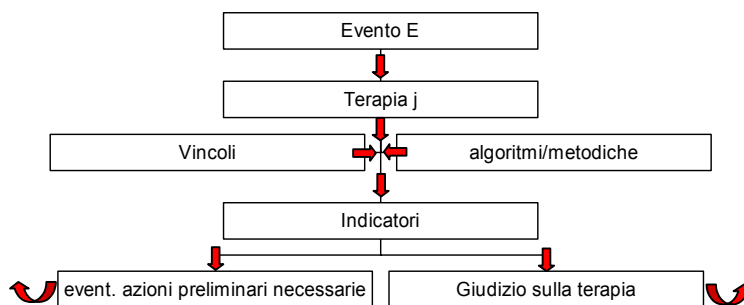


Figura 2 - Logica del processo di ottimizzazione della gestione dell'infrastruttura nell'emergenza

2.1 Formulazione dello spettro delle emergenze e delle terapie

Ad E è associabile data magnitudo $M(E)$ e probabilità di accadimento $p(E)$, dunque relativo Rischio $R(E)=M(E) \cdot p(E)$, considerabili caratteristiche di E (per es., $p=10^{-4}$; $M=10^9$ Joule, esplosione di autobotte trasportante gasolio). L'evento E appartiene ad un insieme "numerioso", di seguito denominato spettro teorico degli eventi-interruzione (Cfr. Tab.2).

Tabella 2 - Classificazione degli eventi – spettro teorico degli eventi-interruzione	
Eventi/incidenti ad "interruzione tendenzialmente lunga"	Sisma
	Alluvione, smottamento, frana, etc.
	Incidenti stradali particolari (sversamento o/e diffusione inquinanti; ribaltamento mezzi pesanti con danni infrastrutturali, incidenti in galleria, etc.)
	Crisi strutturale (anche in seguito ad incidente (es: caduta cubo di marmo, con "sfondamento" dell'impalcato);
	Lavori di manutenzione, di adeguamento funzionale, etc.;
...	
Eventi/incidenti ad "interruzione tendenzialmente breve"	Usuali incidenti stradali
	Sversamenti e diffusione di inquinanti di lieve entità
	Manutenzione di emergenza di brevissima durata

E può essere localizzato in diverso punti (x_E, y_E, z_E) della tratta considerata: carreggiata Nord (cioè in direzione Nord) o Sud, galleria, viadotto, prima o dopo lo svincolo completo di Scilla, etc. In termini operativi si individuano i quattro domini principali elencati in Tab.3.

Tabella 3 - Possibile localizzazione delle emergenze nella tratta considerata	
Denominazione	Descrizione
E.N.423-424	Emergenza in carreggiata Nord (cioè da Sud verso Nord), tra i Km 423 e 424.
E.N.416-423	Emergenza in carreggiata Nord (cioè da Sud verso Nord), tra i Km 416m e 423
E.S.423-424	Emergenza in carreggiata Sud, tra i Km 423 e 424
E.S.416-423	Emergenza in carreggiata Sud, tra i Km 416 3 e 423

I disagi per l'utenza dipendono, oltre che da R(E) e dalla relativa localizzazione (a cui, peraltro, R può risultare congiunto → collisione in galleria trasporti infiammabili, etc.), anche dalle misure preventivo-terapeutiche M_i (Cfr. Tab.4), nonché dalla relativa strategia combinata di impiego TE_j (Cfr. Tab.5).

Tabella 4 - Spettro delle misure di prevenzione e terapie per l'ottimizzazione in condizioni di emergenza		
Misura terapeutica	Natura del provvedimento	
M_1 : Istituzione doppio senso di circolazione sulla carreggiata della A3 non interrotta	T	A
M_2 : Coinvolgimento di altri rami della rete (SS18, SS183, SS112, SS106)	T	A
M_3 : Inibizione permanente od "a tempo" traffico pesante sulla A3	T	A/F
M_4 : Interventi di politica dei trasporti: modifica della distribuzione modale	T	F
M_5 : Realizzazione nuovo scambio di carreggiata in A3 posizione intermedia adeguata	I	F
M_6 : Realizzazione ed apposizione nuova segnaletica di emergenza; segnaletica a messaggi variabili – predisposizione segnaletica in corrispondenza ad ogni galleria - progetto e disposizione segnaletica relativa all'interruzione – necessità di prevedere, conformemente alle disposizioni, segnaletica luminosa	AI, AIE	F
M_7 : Interventi sugli arredi dell'autostrada – guardrail incernierati per il cambio della carreggiata	AI	F
M_8 : Messa a punto nuova tecnica e nuova metodologia di apposizione dei delineatori	AIE	F
M_9 : Albero degli eventi e piano di intervento per i gestori; formazione adeguata per gli operatori cantonieri - creazione di un chiaro albero decisionale (quando si opta solo per la deviazione su SS106, su SS18? quando per la contemporanea apertura in senso doppio della carreggiata funzionante?)		A/F
M_{10} : valutazione periodica dei parametri di traffico e di degradazione funzionale delle infrastrutture – monitoraggio continuo – sistemi intelligenti		A/F
M_{11} : connessione informatica/telefonica rapida anas/polizia.		A/F
...		
Legenda T: trasportistica; I: infrastrutturale; AI: arredi infrastrutturali; AIE: Arredi infrastrutturali di emergenza; A: azione proponibile da subito; F: azione eventualmente proponibile solo in futuro		

Tabella 5 - Ipotesi di lavoro	
Evento	Ipotesi di lavoro TE_j
E.N.423-424	TE_1 ; $TE_2(SS18)$; $TE_2(SS183+SS112)$; $TE_1 \cup TE_2$
E.N.416-423	TE_1 ; $TE_2(SS18)$; $TE_2(SS183+SS112)$; $TE_1 \cup TE_2$
E.S.423-424	$TE_1 \cup TE_2$; TE_1 ; $TE_2(SS18)$; $TE_2(MEL+vsg)$;
E.S.416-423	TE_1 ; $TE_2(SS18)$; $TE_2(SS183+SS112)$; $TE_1 \cup TE_2$
Legenda TE_1 : Discende dalla misura M_1 ; TE_2 : Discende essenzialmente dalla misura M_2 ; $TE_1 \cup TE_2$: Discende essenzialmente dallo sviluppo ordinato e consequenziale delle misure M_1 e M_2	

2.2 Metodiche ed algoritmi impiegati

La corretta e realistica previsione del vettore $D_j(E)$, associato all'evento E, dipende:

- dalla riconduzione del sistema complesso (in primis infrastrutture e carichi di traffico) ad un modello di rete (Cfr. Fig.3).;
- dall'attitudine dei modelli e degli algoritmi a simulare l'evoluzione delle grandezze principali (lunghezza della fila, perditempo, etc.), in condizioni perturbate (accumulo fila, deviazione smaltimento, etc.) od a regime (ante o post-evento, Cfr. Tab.6) [4, 5];

- dall'adeguata considerazione dei perditempo associati alla gestione dell'evento e dell'intervento (tempi di attivazione squadre-mezzi di soccorso, tempi di intervento nelle specifiche condizioni nell'immediatezza del post-emergenza);
- dalla liceità prettamente giuridica delle azioni intraprese (conformità del sistema di segnalamento al Regolamento di attuazione del Nuovo Codice della Strada e successive Circolari, etc.);
- dalla calibrazione del modello attraverso apposite indagini sperimentali [6, 7, 8];
- dalle prestazioni delle infrastrutture [9, 10, 11], anche in relazione allo stato funzionale reale delle pavimentazioni; non può omettersi, infatti, che le caratteristiche funzionali, di fatto, esercitano o possano esercitare una cospicua influenza sul comportamento e sulle scelte dei conducenti, dunque anche sui regimi cinematici, nonché sulla sicurezza intrinseca e percepita;
- dal grado di conoscenza delle procedure e dal relativo livello di aggiornamento ed addestramento degli operatori in sito (squadre cantonierie) e dei dirigenti, nonché dalla numerosità ed adeguatezza del relativo organico;

Nella successiva tabella 6 è delineato il quadro complessivo delle metodiche e delle strutture di calcolo impiegate per valutare i principali parametri di traffico e costo, per ognuna delle configurazioni ed ipotesi alla Tabella 5. La caratterizzazione delle funzioni di deflusso $\lambda(t)$ (utenza) e $\mu(t)$ (servizio) è relativa al caso di "sottosaturazione" su A3, per effetto di decremento "impulsivo" della capacità. Nel caso del "funzionamento" di rete ($TE_1 \cup TE_2$), o delle sole arterie "secondarie" (TE_2), gli eventuali scenari di "sovrasaturazione" (incremento di $\lambda(t)$, $\mu(t)$ costante) sono stati studiati attraverso gli algoritmi corrispondenti a quelli evidenziati in Tabella 6.

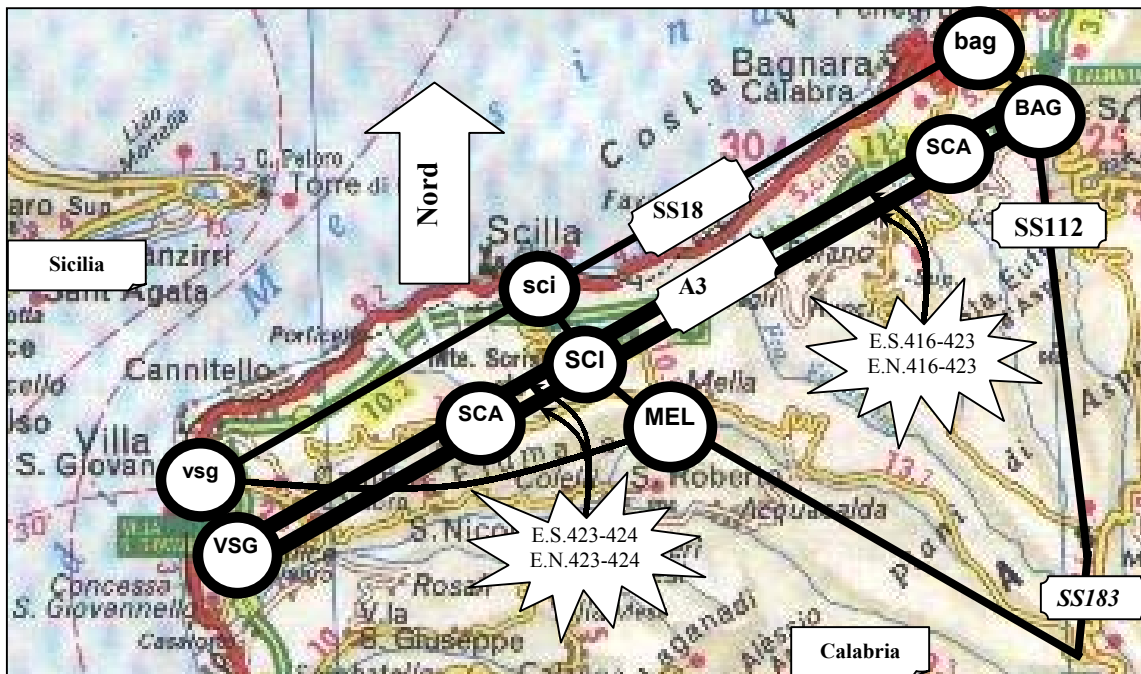


Figura 3 - Rappresentazione schematica rete interessata

Legenda

VSG: nodo Villa San Giovanni su A3; vsg: nodo Villa san Giovanni su SS18; SCA: Scambio di carreggiata su A3; MEL: Melia; SCI: nodo Scilla su A3; sci: nodo Scilla su SS18; BAG: nodo Bagnara su A3; bag: nodo Bagnara su SS18 E.S.416-423: Evento-interruzione su A3, carreggiata Sud (cioè con deflussi in direzione Sud, tra i Km 416 e 423 c.a)

Tabella 6 - Metodiche ed algoritmi impiegati	
Obiettivo	Algoritmo/metodica
Diagramma di riferimento. Ordinate: tasso di utenti $\lambda(t)$ (veic./h), tasso di servizio $\mu(t)$ (veic./h); lunghezza coda $L_q(t)$ (veic.); ascisse: tempo t (s)	
Tasso di utenti (flussi in arrivo) $\lambda(t)$, tasso di servizio $\mu(t)$; flussi cumulati di servizio $S(t)$ ed in arrivo $A(t)$	$S(t) = \int_0^t \mu(t) dt$; $A(t) = \int_0^t \lambda(t) dt$
Tempo t_i di smaltimento coda	$t : \int_{t_i}^t (\lambda - \mu) dt = 0$ ovvero: $t : \int_{t_i}^{t_c} (\lambda - \mu_2) dt + \int_{t_c}^t (\lambda) dt - \mu_1 \cdot (t - t_c) = 0$
Numero di veicoli in coda	$L_q(t) = \int_{t_i}^t (\lambda - \mu) dt$
Numero max di veicoli in coda L_{qmax}	$L_{qmax} = \int_{t_i}^{t_c} (\lambda - \mu) dt = \int_{t_i}^{t_c} (\lambda) dt - \mu \cdot (t_c - t_i) \cong (t_c - t_i) \cdot (\lambda - \mu)$
Ritardo globale dell'utenza	$R = \int_{t_i}^{t_f} L_q(t) dt \cong \int_{t_i}^{t_f} (\lambda - \mu) dt \cong (\lambda - \mu_2) \cdot \frac{t_f t_c}{2}$
Ritardo globale medio dell'utenza	$\frac{R}{\int_{t_i}^{t_f} (\mu) dt}$
Ritardo del veicolo posto in coda in posizione N-esima	$N \cdot \mu^{-1}$; se μ è espresso in veicoli/secondo, allora il ritardo è, naturalmente, espresso in secondi.
Ritardo per decelerazione uniforme da v_0 a v_t	$R = t_1 - t_2 = (v_0 - v_t) \cdot a^{-1} - [(v_0 - v_t)^2 \cdot (2 \cdot a \cdot v_0)^{-1} + (v_0 - v_t) \cdot a^{-1}] = (v_0 - v_t)^2 \cdot (2 \cdot a \cdot v_0)^{-1}$; a espresso in valore e segno; lunghezze in metri, tempi in secondi; se $v_t = 0$ allora $R = v_0 \cdot (2 \cdot a)^{-1}$
Ritardo per percorrenza a velocità minore $v_t < v_0$	$L \cdot v_t^{-1} - L \cdot v_0^{-1}$
Ritardo per accelerazione uniforme da v_t a v_0	$R = (v_0 - v_t) \cdot a^{-1} - [(v_0 - v_t)^2 \cdot (2 \cdot a \cdot v_0)^{-1} + (v_0 - v_t) \cdot a^{-1}] = (v_0 - v_t)^2 \cdot (2 \cdot a \cdot v_0)^{-1}$; a espresso in valore e segno; lunghezze in metri, tempi in secondi;
Problema percorso ottimale - Algoritmo di Dijkstra applicato per differenti configurazioni - tempi t .	Determinazione dell'albero delle minime distanze (percorso critico) da un nodo a tutti gli altri della rete; coppia i-j: (scambio al Km 416 - scambio al Km 423 o viceversa); ad ogni nodo è stato associato l'insieme (costo, nodo predecessore) ^{etichetta} . L'algoritmo è stato applicato per ogni tempo t significativo, in relazione alla variazione dei costi (tempi di percorrenza) in funzione dei transitori di traffico (in particolare, evoluzione della lunghezza della fila, tasso di smaltimento $\mu(t)$). Per la generica coppia (i, j), i.e. scambio-scambio, è stato stimato il percorso a minimo costo, per il generico tempo t .
Tempo t necessario per percorrere un tronco stradale	$t = t_0 \cdot \left(1 + \frac{J \cdot \rho}{1 - \rho}\right)$, ove t_0 è il tempo necessario per percorrerlo in condizioni di veicolo isolato, $\rho = q \cdot q_c^{-1} \ll 1$, q è la portata in veicoli/h, q_c la capacità limite in veicoli/h; J un parametro da tararsi sperimentalmente (0-0.2 per le autostrade, 0.4-0.6 strade urbane a molte corsie, 1-1.5 strade secondarie a carattere locale)

Nella successiva Tab.7, a titolo di esempio, è descritta, in particolare, la strategia qui formalizzata e denominata TE₁. Essa concerne la transizione della capacità μ_1 , relativa

allo stato ante-emergenza (2 corsie per carreggiata, stesso verso di percorrenza) a quella post-emergenza, μ_{ds} , attinente all'utilizzo della carreggiata non interessata dall'evento-interruzione in regime di doppio senso di circolazione.

Tabella 7 - Descrizione dettagliata strategia TE ₁	
Rappresentazione del regime dei flussi	
Tempo	Accadimento
0	incidente/guasto/lavori tra 416 e 424
T ₁	eventuale arrivo polizia su luogo accadimento
T ₂	decisione telefonica ANAS+Polizia: si crea il doppio senso di circolazione sulla carreggiata funzionante. Gli eventuali veicoli "a monte" dell'accadimento ed "a valle" dello scambio sono, con inizio da subito, progressivamente organizzati su 2 file ben accostate (se è possibile, una). Si crea una "corsia di emergenza" (per esempio, contenente la banchina): su di essa si predispongono il ritorno verso lo scambio; i mezzi pesanti, per i quali l'inversione ad U è difficoltosa, sono gli ultimi.
T ₂	arrivo n. 2 camioncini ANAS+2 altri mezzi anas (anche autovetture): una coppia al Km 416 ed una coppia al 424 in corrispondenza agli scambi. Il mezzo dietro al camioncino è necessario per garantire successivamente, a tergo dello stesso, la sicurezza delle operazioni di posizionamento delineatori etc, innanzi descritte. Ogni camioncino anas ha il seguente equipaggio: 1 conducente; 1 palettatore (fissa il delineatore sulla pavimentazione); 1 incollatore (spalma la colla sul delineatore); 1 oscuratore/collaboratore (oscura i segnali che lungo il tracciato risultano da oscurare e poi è lasciato su strada a ¾ di percorso);
T ₂ ~T ₃	messa in funzione segnaletica relativa all'interruzione tanto a 424 che a 416. Tanto a 416 che a 424 deve rimanere almeno un uomo (anas o polizia) in corrispondenza allo scambio, per regolare man mano il traffico. Nelle operazioni che seguono è possibile che tra la squadra che è inizialmente a Nord e quella che è inizialmente a sud vi sia uno sfasamento, per es., di 8' c.a. Ciò non comporta che i primi arrivati debbano aspettare l'altra coppia.
T ₃ ~T ₄	il camioncino ANAS al 416 si dirige verso 424 sulla carreggiata funzionante, con almeno 90 delineatori a bordo, seguito da auto polizia o da altro mezzo ANAS; quello al 424 si dirige verso 416 sulla carreggiata funzionante, con almeno 90 delineatori a bordo, seguito ancora da polizia od altro mezzo anas. Per esempio, se l'interruzione è sulla SUD, allora il camioncino a 416 si dirige verso sud partendo dalla sud in corrispondenza al primo delineatore da inserire, sistemando 1 delineatore ogni 96 metri c.a.; giunto allo scambio di carreggiata continua sulla nord, verso sud, sempre sistemando 1 delineatore/96m c.a.; quando, verso la 420, incrocia l'altro camioncino anas, continua a sistemare 1 delineatore/96m, naturalmente posto in mezzo tra quelli che l'altro camioncino ha già sistemato; il camioncino a 424 si dirige verso nord partendo dalla nord in corrispondenza al primo delineatore da inserire (per curare il rientro da nord in sud della corrente deviata), sistemando 1 delineatore ogni 96m; quando, verso la 420, incrocia l'altro camioncino anas, continua a sistemare 1 delineatore/96m c.a, naturalmente posto in mezzo tra quelli che l'altro camioncino ha già sistemato; nei T ₄ -T ₃ primi dall'avvio dell'operazione: si è assicurata una portata oraria di Q ₁ v/h; la velocità media è stata pari a V ₁ ; se il flusso per direzione è < Q*v/h si è esaurita la fila; Dopo T ₄ -T ₃ è presente : 1delineatore/50m c.a
T ₄ ~T ₅	i 2+2 mezzi hanno percorso gli 8 Km c.a. Devono fare inversione a U in corrispondenza agli scambi, eventualmente ricaricare delineatori (in numero di altri 245 per camioncino). In alternativa ciascuno dei due camioncini deve possedere sin dall'inizio 245+90=335 delineatori c.a. In tal caso le 2 coppie di mezzi devono solo effettuare inversione a U.
T ₅ ~T ₆	In T ₅ ~T ₆ , la coppia di mezzi (camioncino prima) che ha già percorso la carreggiata da Nord a Sud ora deve percorrerla in direzione inversa; idem per quella che prima ha delineato da Sud a Nord. Il camioncino da 424 (sud) a 416 (nord) deve inserire un delineatore tra ciascuna coppia di delineatori presenti. Quindi, sino a circa 420 inserirà 1delineatore /48m e da 420 circa (ove incontrerà l'altro camioncino) a 416 deve inserire 1 delineatore ogni 24m. Il camioncino da 416 (nord) a 424 (sud) deve inserire un delineatore tra ciascuna coppia di delineatori presenti. Quindi, sino a circa 420 inserirà 1delineatore /48m e da 420 circa (ove incontrerà l'altro camioncino) a 416 deve inserire 1 delineatore ogni 12m. nei T ₆ -T ₅ dall'avvio di questa seconda fase: si forma una fila pari a L _{q1} Km; la portata media è pari a Q ₂ v/h; la velocità media è pari a V ₂ Km/h; alla fine è presente 1 delineatore /12 metri;
T ₆	Fine lavoro per camioncini e mezzi anas; tutti i mezzi anas (eccetto quello che permane sui luoghi) devono tornare al centro manutenzione di Rc o Palmi ancora con lampeggiatori e segnalatori accesi. Un veicolo anas deve percorrere le aree di intervento, con lampeggiatori accesi, per almeno altre 2h.
T ₆ ~T ₇	Durante questo arco temporale T ₇ -T ₆ il traffico, se il flusso è stato maggiore di Q ₂ v/h, torna a regime, altrimenti continua ad essere a regime.
>T ₇	Traffico a regime

3.INDAGINE SPERIMENTALE

Al fine di valutare quantitativamente, sia pure in prima istanza, l'efficacia delle singole terapie si è resa necessaria l'effettuazione di appositi rilievi sperimentali concernenti variabili di traffico e caratteristiche geometrico-funzionali delle infrastrutture considerate.

3.1 Rilievi di traffico

Come ben noto, i rilievi del traffico, oltre a risultare indispensabili per il calcolo dei principali indicatori del disturbo arrecato all'Utenza in condizioni di flusso perturbato od interrotto, divengono, tra l'altro, utili al fine di programmare gli eventuali interventi di manutenzione od adeguamento nei periodi di flusso minore.

Sono stati rilevati, tanto sulla A3 che sui percorsi alternativi (SS18, SS112, SS183), i flussi (inclusa la relativa composizione), le velocità, nonché i relativi indicatori statistici di posizione e dispersione.

Nella successive Tab.9 e 10 sono riportati alcuni dei risultati ottenuti, per l'infrastruttura autostradale, subordinatamente a prescelti parametri di analisi. Altri indicatori di posizione di Q e V, per i rimanenti percorsi, sono direttamente riportati nel quadro sinottico di Tab.11.

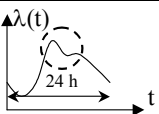
Tabella 8 - Rilievi sperimentali su A3: portate Q(v/h) e velocità V (Km/h)						
Periodo di riferimento: ora; mese: Settembre; anno: 2001						
Riferimento	Nord (Direzione da Sud verso Nord)			Sud (Direzione da Nord verso Sud)		
	E[Q]	E[V]	$\sigma[V]$	E[Q]	E[V]	$\sigma[V]$
		926	81	10.3	869	101

Tabella 9 - Rilievi sperimentali su A3: percentuali p di mezzi pesanti (%) e H di mezzi con merci pericolose (Hazmat, %).			
Periodo di riferimento: ora; mese: Settembre; anno: 2001			
Nord (Direzione da Sud verso Nord)		Sud (Direzione da Nord verso Sud)	
E[p]	E[H]	E[p]	E[H]
10.2	1.9	12.1	5.5
H: % di mezzi pesanti con merci pericolose rispetto al totale dei mezzi pesanti.			

Si osserva che sui parametri V e Q esercita un'influenza particolare la geometria (carreggiata sud in discesa, nord in ascesa). L'influenza della livelletta in salita appare particolarmente rilevante tanto in termini di regime delle velocità che di distribuzione della portata tra le singole corsie; per quest'ultima si è rilevata la seguente ripartizione: circa 50%-50% sulla carreggiata Nord e circa 80%(marcia)-20%(sorpasso) sulla Sud (la quale è, appunto, quella in discesa). L'interpretazione di tale ripartizione deve essere posta in relazione anche alla apprezzabile percentuale di mezzi pesanti. In merito a questa ultima percentuale è necessario precisare che i valori rilevati risultano alquanto minori rispetto alla reale "consistenza" media giornaliera ($TGMA_p/TGMA_{tot} \approx 1/5 \sim 1/4$). La percentuale p, inoltre, è suscettibile di influire tanto sui rischi connessi agli eventi-interruzione che sulle relative terapie, e, dunque, sui conseguenti "sistemi decisionali". Entrambi i principali percorsi alternativi, infatti, per effetto del sistema orografico stesso

della Regione, presentano livellette “impegnative” e lunghezze di visuale libera per il sorpasso tendenzialmente ridotte.

3.2 Stato e funzionalità delle infrastrutture

Nella successiva Tab.11 sono riassunti i risultati dell’indagine sperimentale e della successiva analisi delle caratteristiche geometrico-funzionali delle infrastrutture. Al fine di rendere possibile l’immediata percezione del quadro complessivo sono, inoltre, riportati i valori medi delle velocità e portate rilevate.

In particolare, per ciò che concerne la A3, emerge uno stato di fatto caratterizzato da opportunità di adeguamento delle geometrie (raggi planimetrici ed altimetrici, distanze di visibilità, planimetrie ingressi ed egressi dall’arteria, pendenze trasversali, sezione trasversale, etc.), dunque del livello di servizio (dall’attuale C~D ad A~B), nonché, relativamente ad alcuni tronchi, delle performance della sovrastruttura (regolarità, portanza, aderenza).

Tabella 10 - Rilievo ed analisi caratteristiche geometrico-funzionali - quadro riassuntivo							
Tratta	L (Km)	V (Km/h)	Q (v/h)	Lar.Sezione (m) - (1)	BU CNR n.78/80 - (2)	Proposta di Norma 2001 (3)	DEG - (4)
<u>Autostrada A3</u>							
A3, da scambio 416 a scambio 424 (6)	≈7.8	N: ≈81 S: ≈101	N: ≈926; S: ≈869 (5)	≈ (1.5)·2+4·3.75 + 1.1	≈Tipo III	≈Tipo A	(IR)
A3, da Svincolo Sv Villa San Giovanni a Sv Bagnara	≈21.5	Idem c.s.	Idem c.s.	Idem c.s.	Idem c.s.	Idem c.s.	(IR)
A3, da Svincolo Sv Scilla a Sv Bagnara	≈11.3	Idem c.s.	Idem c.s.	Idem c.s.	Idem c.s.	Idem c.s.	(IR)
<u>Rete litoranea</u>							
SS18, da Sv Scilla a Sv Bagnara e viceversa	≈20.0	N: ≈38; S: ≈41;	N: 84 S:115	Variabile ≈ (0.2~0.5)·2+6.8	≈Tipo VI (6)	≈Tipo F2 (7)	FE, IR, AD
SS18, da Sv Villa San Giovanni a Sv Bagnara e viceversa	≈33.6	N: ≈41; S: ≈43	Idem c.s.	Variabile ≈ (0.2~0.5)·2+6.8	Idem c.s.	Idem c.s.	FE, IR, AD
SS18, da Sv Villa San Giovanni a Sv Scilla e viceversa	≈13.6	≈45	Idem c.s.	Variabile ≈ (0.2~0.5)·2+6.8	Idem c.s.	Idem c.s.	FE, IR, AD
<u>Rete pedemontana</u>							
SS183+SS112, da Sv Scilla a Sv Bagnara e viceversa	≈37.8	≈38	SS183: N: 28; S: 22; SS112: N:127; S:79	Variabile ≈ (0.2)·2+6.7	Idem c.s.	Idem c.s.	FE, IR, AD; BU
SS183+SS112, da Sv Villa San Giovanni a Sv Bagnara e viceversa	≈43.0	≈39	Idem c.s.	Variabile ≈ (0.15)·2+6.7	Idem c.s.	Idem c.s.	FE, IR, AD, BU
SS183+SS112, da Sv Villa San Giovanni a Sv Scilla e viceversa	≈18.8	≈40	Idem c.s.	Variabile ≈ (0.15)·2+6.7	Idem c.s.	Idem c.s.	FE, IR, AD, BU
Nota (1). Ci si è riferiti a: banchine + corsie, spartitraffico, il tutto espresso in m							
Nota (2). E’ riportata la Tipologia meglio assimilabile secondo il BU CNR n.78/80. L’attuale configurazione geometrica della A3, parzialmente in modificazione, dipende dall’assetto normativo precedente. Con riferimento al B.U. CNR n.78/1980: Tipo III; larghezza sezione: 1.75·2+3.5·4+1.1; velocità di progetto $V_p=80\sim 100$ Km/h. Per effetto di un possibile adeguamento della A3: Tipo I~Tipo II, con corsia di emergenza da m3.0.							

- Nota (3).
 Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, 2001; attuale configurazione geometrica \approx Tipo A; ambito territoriale: extraurbano; larghezza sezione: 3.00-2+3.75-4+0.7-2+2.6; velocità di progetto $V_p=90\sim 140$ Km/h; livello di servizio B; portata di servizio =1100veq/(ora-corsia); accessi: esclusi; possibile adeguamento della A3 nella tratta considerata: da 2 banchine in destra a n.2 corsie di emergenza da m3.0, con maggiore conformità al tipo A citato: 3.00-2+3.75-4+0.7-2+2.6.
- Nota (4).
 Degradazioni funzionali DEG della sovra-struttura flessibile. Con riferimento al BU CNR N.125/88 – Degradazioni sovrastrutture flessibili. FE: presenza occasionale fessurazioni; IR: presenza tratte ad irregolarità medio-elevata o (IR) medio-bassa; AD: presenza tratte con aderenza da ottimizzare; BU: puntuali fenomeni di sgranamento e/o buche.
- Nota (5).
 Ci si riferisce alla portata complessiva delle due corsie (marcia+sorpasso)
- Nota (6).
 B.U. CNR n.78/1980; \approx Tipo VI; larghezza sezione: 1.0-2+6.0; velocità di progetto $V_p=40\sim 60$ Km/h.
- Nota (7).
 Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, 2001; \approx Tipo F2; ambito territoriale: Locale extraurbano; larghezza sezione: 1.0-2+6.5; velocità di progetto $V_p=40\sim 100$ Km/h; livello di servizio C; portata di servizio (flussi bilanciati, percentuale di visibilità per il sorpasso =450veq/(ora-corsia); accessi: ammessi.
- Nota (8).
 Si precisa che tra i due scambi di carreggiata su A3 sono presenti: 19 viadotti; 5 gallerie; uno svincolo completo (Scilla).

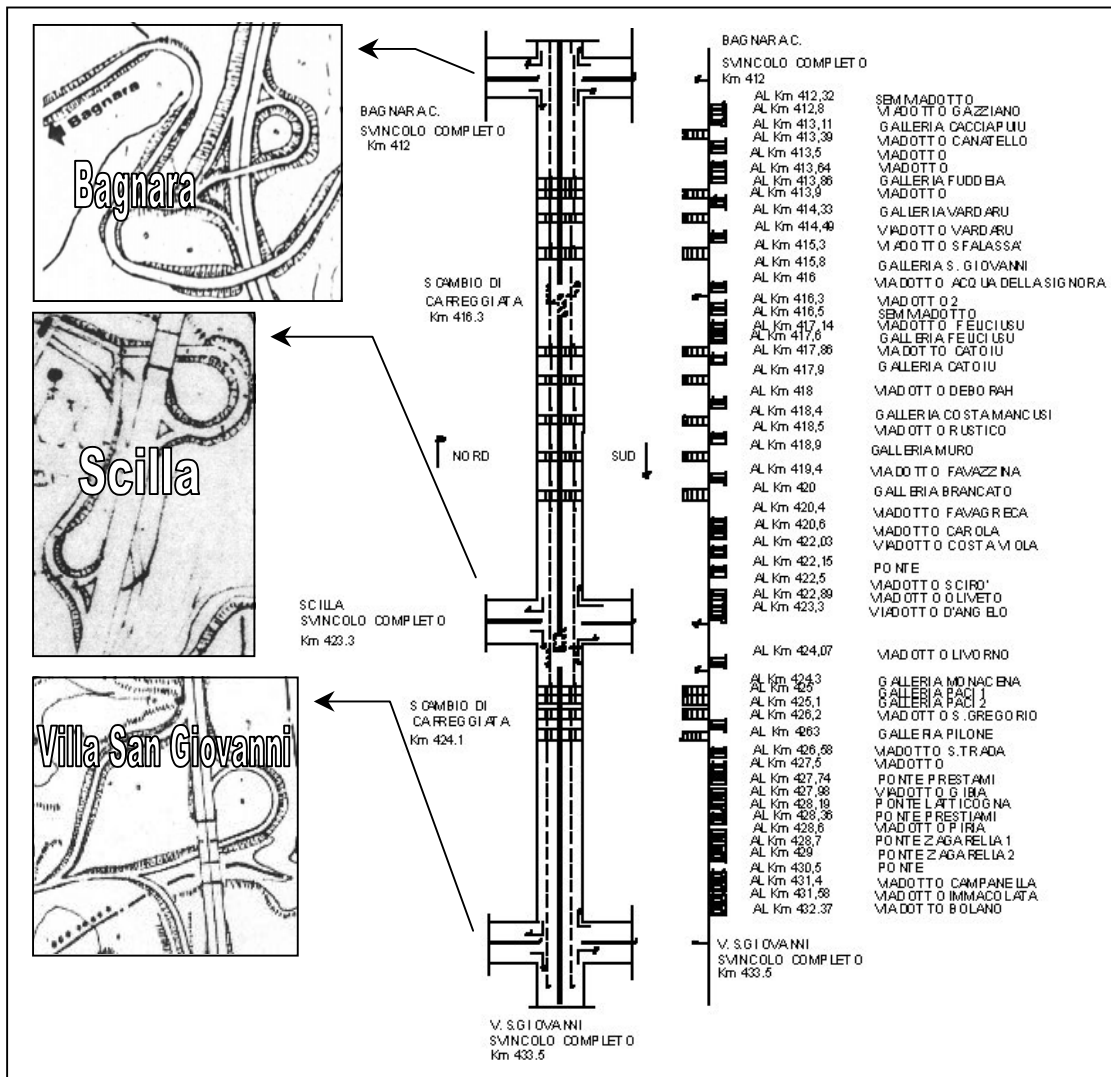


Figura 4 – Caratterizzazione tipologica originaria tronco di A3 considerato

4.ANALISI DEI RISULTATI

Sulla base della modellazione del problema, dei rilievi effettuati, nonché delle statistiche reperite in letteratura, si è resa possibile la stima dei tempi di percorrenza, nonché del relativo Ritardo R medio, valutato quale ritardo nell'opzione particolare rispetto alla condizione di flusso non perturbato su A3 (Cfr. Fig.5 e Tab. 5).

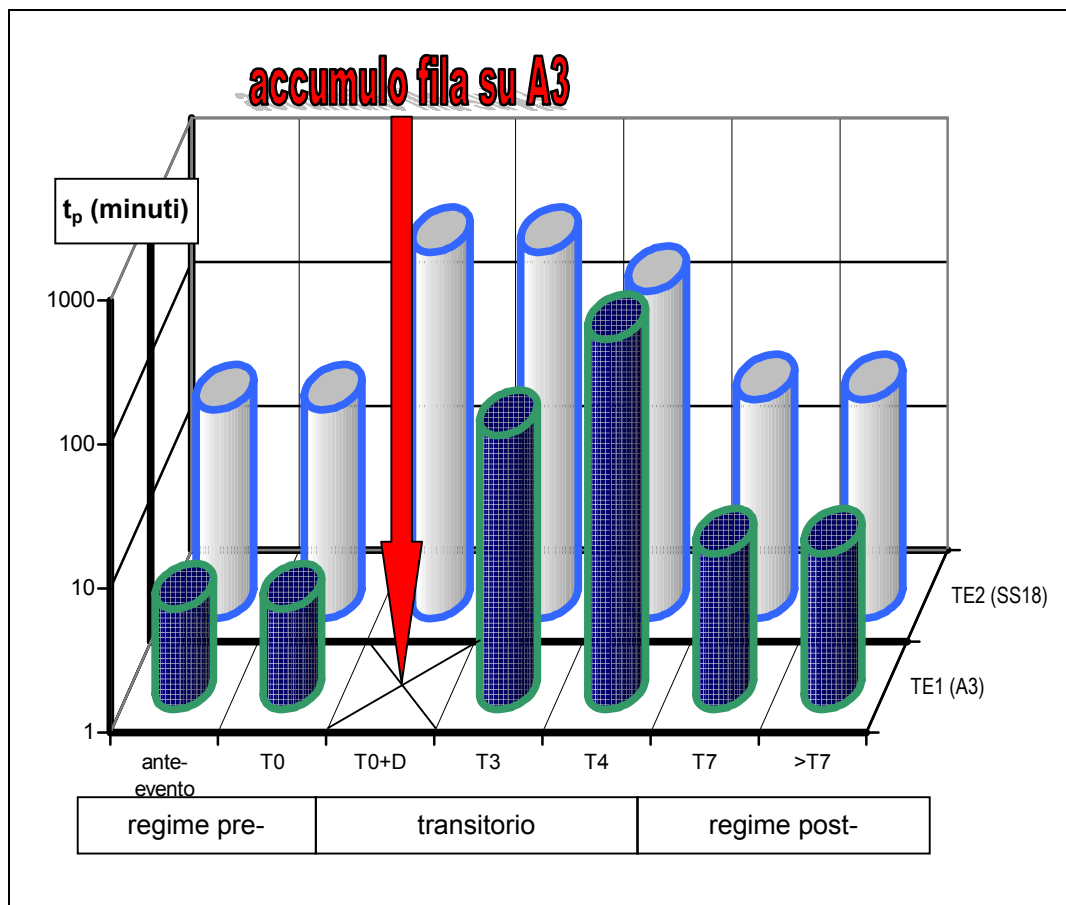


Figura 5 – Stima dei tempi medi di percorrenza t_p su A3 e SS18 nel caso di interruzione del flusso su A3 del tipo E.N.416-423 all'istante T_0

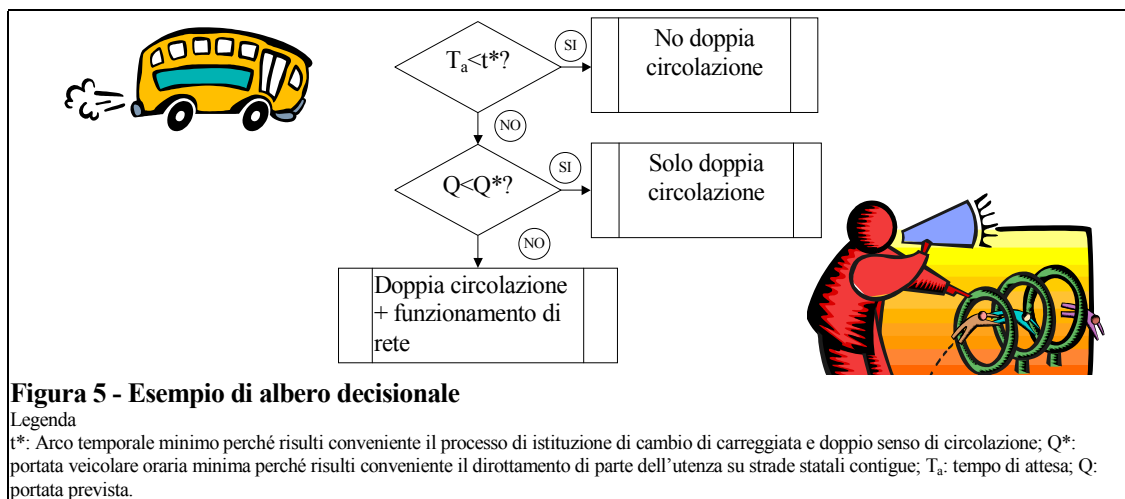
Tabella 11 - Ritardo complessivo per il dato evento, per le singole ipotesi, per il singolo veicolo (comportamento per $t > T_7$)				
Eventi↓	Strategia			
	TE ₁	TE ₂ (SS18)	TE ₂ (SS183+SS112)	TE ₁ ∪ TE _{2i}
E.N.423-424	6'	11'	49'	11
E.N.416-423	6'	23'	52'	12'
E.S.423-424	5'	13'	23'	8'
E.S.416-423	5'	22'	52'	11'

R può considerarsi quale componente di $D(E)$ ed è espressivo di un'aliquota fondamentale degli oneri per l'utenza. Si precisa che, in linea generale, R (variabile

aleatoria per la quale sono stimati i valori attesi) varia in funzione degli andamenti orari del traffico nelle 24h (minimo notturno, punta antimeridiana, minimo diurno, punta pomeridiana, etc.) nonché, specie con riferimento alla cospicua stesa chilometrica in galleria e/o salita, della relativa composizione veicolare. Poiché su R, inoltre, può influire in forma accentuata un esteso insieme di parametri, i valori indicati assumono il significato di riferimenti di massima.

L'analisi delle risultanze modellistiche, rese possibili anche dal rilievo dei dati in situ, induce a ritenere che:

- tra i percorsi alternativi al doppio senso di circolazione su A3, a regime, il più efficiente è quello della SS18: esso è, però, costruito in prevalenza a mezzacosta su acclivi versanti rocciosi, peraltro potenzialmente instabili, dunque soggetto a risultare vulnerabile specie in caso di emergenze dovute a sisma; in quest'ultima ipotesi, specie con riferimento al transitorio successivo all'istante in cui avviene l'evento e si ha il passaggio dalla capacità iniziale a quella nulla, può risultare essenziale la presenza contestuale di altri tracciati alternativi (SS112, SS183), usualmente considerabili disagiati.
- l'impiego d'emergenza dei percorsi alternativi in ausilio al doppio senso su A3 risulta molto efficace nel caso di portate su A3 di gran lunga maggiori di quelle usuali (c.a 900v/h), cioè, per es., in corrispondenza ai grandi esodi (estivo in primis).
- l'utilizzo di percorsi alternativi (ed in particolare della SS18) diviene essenziale specie durante l'arco temporale immediatamente successivo all'emergenza, quando il doppio senso di circolazione non è ancora istituito. In tal caso, però, i tempi non sono assimilabili a quelli sopra riportati in tabella, in relazione all'effetto "negativo" della portata (e della relativa composizione veicolare). Il proficuo utilizzo della "valvola d'emergenza" (per SS18) è, però, vincolato alla tempestività dell'informazione resa agli utenti (pannelli a messaggio variabile).



Alla luce dei risultati ottenuti risulta possibile delineare, inoltre, un quadro degli interventi necessari al fine di ottimizzare il comportamento di rete in caso di emergenza (tra parentesi è riportata una stima di massima dell'impegno finanziario annuo, in €/a, pari a 1936,27€/a, nell'ipotesi di un orizzonte finanziario pari a 20 anni):

1. Formalizzazione e perfezionamento progressivo di un albero decisionale di impiego coordinato e comune tra Forze dell'Ordine e Gestore (2.000 €/a);
2. Incremento di risorse umane (100.000 €/a);

3. Incremento e perfezionamento risorse materiali (25.000 €/a);
4. Formazione continua di dirigenze ed operatori (50.000 €/a);
5. Segnaletica a messaggio variabile (in particolare: sulla Nord, prima del nodo autostradale di Bagnara; sulla Sud, prima dei nodi autostradali di Scilla e Villa San Giovanni, 30.000 €/a);
6. Ottimizzazione della segnaletica tradizionale sui percorsi alternativi proposti (1.000 €/a);
7. Istituzione Rete di rilevamento dati (25.000 €/a);
8. Installazione di deviatori di carreggiata incernierati in corrispondenza agli scambi ed accurata informazione sull'uso presso Ente Manutentore e Forze dell'Ordine (1.500 €/a);
9. Adeguata manutenzione infrastrutturale anche su SS18 (+50.000 €/a).

5. CONCLUSIONI

La logica dell'analisi del rischio costituisce probabilmente uno degli strumenti più perfezionati ed organici di cui i Tecnici possano oggi disporre nell'interesse della protezione della Comunità tutta nel caso di eventi di emergenza su reti infrastrutturali di rilievo. Essa costituisce il primo, inevitabile passo per l'assunzione motivata e serena di decisioni la cui portata è in uno scientifica, tecnica, finanziaria e sociale. L'importanza (geopolitica, turistica ed economica) e la funzione strategica della A3 ben si prestano ad un tentativo di analisi così sofisticata e puntuale.

Alla luce di tali avvertite esigenze, si è effettuata un'apposita analisi della classe di rischi inerenti alla interruzione dei flussi su di un tratto della Autostrada A3 Salerno - Reggio Calabria, privo di scambi di carreggiata su di una cospicua stesa chilometrica.

Le sperimentazioni e le successive analisi effettuate, concernenti variabili ora tendenzialmente trasportistiche (logistica e costo del trasporto), ora prevalentemente infrastrutturali (influenza della segnaletica, delle degradazioni strutturali, nonché funzionali sulle performance di rete), hanno consentito di delineare un primo quadro complessivo del problema, evidenziandone criticità sistemiche e suggerendo l'opportunità di intraprendere azioni correttive e preventive.

La consapevolezza della finitezza delle risorse umane e finanziarie disponibili per l'ottimizzazione del comportamento di rete in condizioni di emergenza ha inoltre indotto a considerare quale esigenza prioritaria la valorizzazione del considerevole patrimonio infrastrutturale ed umano esistente e l'ottimizzazione a costi ridotti.

La modellistica, gli algoritmi risolutivi, le considerazioni logistico-finanziarie e quelle "terotecnologiche" hanno reso possibile l'accertamento di esigenze strutturali e formative talvolta di impegno economico non elevato.

Tra di esse la formazione continua di operatori e dirigenze, la disposizione di un sistema segnaletico a messaggi variabili sull'autostrada in oggetto, la necessità di formalizzare, implementare e perfezionare semplici alberi decisionali concepiti e condivisi anche con i principali attori del processo (Ente Manutentore e Forze dell'Ordine in primis), nonché la predisposizione di semplici misure operative per rendere possibile la transizione dallo stato di emergenza ad uno stato di funzionamento a capacità ridotta (apposita segnaletica su arterie secondarie di emergenza, nuove apparecchiature-guard-rails presso i nodi di scambio di carreggiata, etc.).

E' innegabile inoltre, che un sostanziale apporto alla minimizzazione del rischio, in probabilità e magnitudo, nonché dei disagi psico-tecnici resi all'utenza in condizioni di

flusso interrotto o perturbato (per sovra- o sottosaturazione), potrebbe provenire dall'adeguamento della sezione trasversale della A3 agli standards delle più recenti norme geometrico-funzionali nazionali.

Aspetti psicologici, mediatici ed "esterni" devono, allora, necessariamente, essere subordinati a serene ma rapide considerazioni operative, esecutive strutturali e tecniche informate all'eccellenza dei risultati nel dominio della protezione civile e della sicurezza degli Utenti, attraverso la valorizzazione dell'esistente e la selezione delle più adeguate ed efficienti risorse materiali ed umane.

BIBLIOGRAFIA

- [01] De Blasiis M.R., il catasto delle strade per la gestione del patrimonio e la programmazione territoriale – Collana di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie, vol.n2, Ed.IPS, Roma, 1996.
- [02] Benedetto C., Malusardi L., Nebbia G., Manutenzione e traffico: valutazione analitica delle interferenze, *Autostrade*, 10/88.
- [03] B.U. n 125/88, Istruzioni sulla pianificazione della Manutenzione stradale; BU CNR n.78/80, Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade extraurbane; CNR bozza/2001, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, 2001.
- [04] D'Andrea A., Grechi A., Analisi di una deviazione di traffico su Autostrada a sei corsie, *Autostrade*, 3/93.
- [05] Vitetta A., Teoria delle code, quaderno didattico, DIMET, Università di Reggio Calabria, 1999.
- [06] Gattuso D., Analisi dei flussi di traffico con l'ausilio di procedure di trattamento automatico di immagini, Laboratorio LAST, Università di Reggio Calabria, Collana Trasporti, F. Angeli, 1997.
- [07] Mathey M. et al., Surveillance et gestion du trafic, Détection des incidents/accidents par analyse automatique des images video, *Strasse und Verkehr*, n.6, giugno 1997.
- [08] Zweibrucken Klaus, Video-Verkehrs-Analyse, Alltagseinsatz eines Verkehrsplanungsburos, *Strasse und Verkehr*, n.3, marzo 1999.
- [09] Bella F., Gli effetti indotti dai cantieri sotto traffico, *Quarry & Construction*, giugno 99.
- [10] Filippi F., Guerriero G., Emergenza chimica in Autostrada, applicazione di un sistema esperto, *Autostrade*, n.1/1989.
- [11] Testaguzza P., I livelli di servizio attuali e di progetto della A3, *Le strade*, 6/2001.