

LA MOBILITÀ IN CONDIZIONI DI EMERGENZA: PIANIFICAZIONE E
SIMULAZIONE DELLA DOMANDA

Francesco RUSSO, Corrado RINDONE e Giovanna CHILÀ

DIMET, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Feo di Vito, 89060, Reggio Calabria

SOMMARIO

In questo lavoro si analizzano gli interventi di riduzione del rischio, nella sua componente esposizione, in termini di evacuazione della popolazione. La realizzazione di un piano di protezione civile e l'adozione di adeguate procedure per l'evacuazione della popolazione richiedono una stima delle presenze nell'area di piano, in funzione dello scenario considerato, mediante l'utilizzo di modelli di domanda, che, nell'ambito di questo studio, vengono specificati per situazioni di emergenza.

I modelli sono stati stimati mediante prove di evacuazione reali effettuate nell'ambito del progetto SICURO (riduzione del rischio mediante procedure di evacuazione: linee guida, sperimentazione e sistema di supporto alle decisioni).

1 INTRODUZIONE

Il concetto di sicurezza, nella lingua italiana, è riconducibile a due contenuti differenti, in inglese identificati dai termini *safety* e *security*, che si rivolgono ad eventi determinati rispettivamente senza o con la deliberata volontà di qualcuno. La *safety* e la *security* sono strettamente correlate alla probabilità che si verifichi uno specifico evento disastroso e, in qualche modo, alla vulnerabilità del sistema. Probabilità e vulnerabilità sono due delle componenti del rischio (R), che può essere formalmente definito come il prodotto della probabilità di accadimento dell'evento (P) e della magnitudo dell'evento (M), ossia l'entità delle conseguenze. La magnitudo comprende due componenti: la vulnerabilità e l'esposizione. Al fine di ridurre il rischio è possibile attuare interventi di prevenzione per modificare la probabilità, interventi di protezione per modificare la magnitudo. A loro volta, gli interventi di protezione possono essere distinti in interventi finalizzati ad aumentare la resistenza e quindi ridurre la vulnerabilità ed interventi finalizzati a migliorare la mobilità delle persone in condizioni di evacuazione e quindi ridurre l'esposizione (Russo e Vitetta, 1996; Russo, 2004; Russo e Vitetta, 2005; Russo e Vitetta, 2007).

L'insieme degli interventi da attuare dovrebbe essere il risultato di un processo di pianificazione. Tale processo è caratterizzabile attraverso le dimensioni con cui si definisce il generico prodotto-piano ed il percorso connesso alle interazioni tra i soggetti coinvolti nelle differenti dimensioni con cui si definisce il processo-piano (Russo e Rindone, 2007).

Esistono in letteratura numerosi esempi di linee guida e di piani per la pianificazione dei sistemi in condizioni di emergenza.

In Italia il processo di pianificazione dell'emergenza è regolato dalla Legge 24 febbraio 1992, 225 "Istituzione del Servizio nazionale della protezione Civile" (Legge 225/92). La legge individua differenti tipologie di eventi ed ambiti di competenze (eventi di tipo a; eventi di tipo b eventi di tipo c).

Secondo la legge 225/92, alle differenti scale territoriali (nazionale, regionale e locale), esistono differenti enti pubblici a cui spetta la predisposizione di piani e programmi per fronteggiare le emergenze.

A seguito dell'introduzione delle normative in materia di decentramento amministrativo (Legge 15 marzo 1997, n. 59, D.Lgs. 112/98) le regioni e gli enti locali hanno assunto un ruolo centrale in materia di protezione civile.

Si evidenzia che attualmente nel processo interno per la redazione e l'approvazione dei piani locali la normativa vigente non prevede l'applicazione di metodi quantitativi per verificare le procedure di evacuazione.

In questa nota si presentano i principali risultati ricavati nell'ambito del progetto SICURO (riduzione del rischio mediante procedure di evacuazione: linee guida, sperimentazione e

sistema di supporto alle Decisioni), in merito a pianificazione e analisi della domanda in condizioni di emergenza.

Il progetto, di rilievo internazionale, è stato finanziato dalla regione Calabria, nell'ambito del POR (Programma Operativo Regionale), Fondi Strutturali UE 2000-2006.

Il progetto contribuisce alla costruzione di modelli teorici e procedure generali per valutare l'esposizione di un sistema urbano in condizioni di emergenza e quindi la riduzione del rischio mediante evacuazione.

È stato sviluppato un metodo quantitativo che consente di simulare il funzionamento di un sistema di trasporto quando si deve imporre una mobilitazione generale dovuta al verificarsi di un evento calamitoso. Attraverso la predisposizione di un sistema di modelli si può verificare il sistema di trasporto a servizio dell'area interessata, in condizioni di evacuazione.

I risultati che scaturiscono dai processi di simulazione vengono utilizzati per la verifica delle decisioni necessarie per attuare un'ottimale pianificazione sia a livello tattico che operativo degli interventi.

In questa nota vengono analizzate le attività preventive che devono essere contenute nei piani di evacuazione per ridurre la componente esposizione e viene proposta un'analisi dei modelli da utilizzare per la stima e la simulazione della domanda di mobilità in condizioni di emergenza.

La domanda di mobilità rappresenta l'insieme degli spostamenti che vengono compiuti tra una coppia di nodi origine/destinazione, dati una fascia oraria, un motivo dello spostamento, un modo ed un percorso, ed è determinata dalla configurazione che il sistema delle attività e quello dell'offerta di trasporto assumono nell'area di studio.

Un modello di domanda può essere definito come una relazione matematica che consente di associare ad un dato sistema di attività e di offerta di trasporto il valore medio del flusso di domanda in un determinato periodo di riferimento con le sue caratteristiche rilevanti. (Cascetta, 2006). In generale, i modelli matematici utilizzati per simulare la domanda di trasporto dei viaggiatori presenti in letteratura sono numerosi e molto diversi fra loro e possono essere classificati in funzione di diverse caratteristiche (Figura 1).

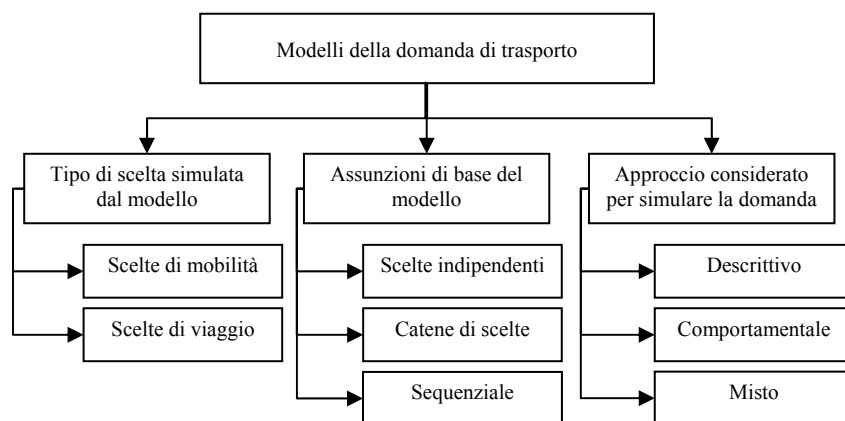


Figura 1 Classificazione dei modelli di domanda

Un primo elemento di classificazione è costituito dalla tipologia delle scelte e quindi dalle dimensioni simulate dal modello, che possono essere classificate come scelte di mobilità, se influenzano indirettamente lo spostamento, o di viaggio, se riguardano le dimensioni che caratterizzano il viaggio e gli spostamenti che lo compongono.

Il secondo elemento di classificazione è relativo alle ipotesi fatte sul concatenamento, ovvero sui reciproci condizionamenti delle scelte. In generale, le scelte relative a ciascuno spostamento origine/destinazione possono essere classificate come: indipendenti da quelle degli altri spostamenti dello stesso viaggio; concatenate fra loro (trip chaining); sequenziali, se vengono simulate in termini di permanenza o transizione dallo stato del sistema precedentemente occupato (Gottman e Roy, 1990; Russo, 1999; Russo e Chilà, 2007a).

Un ulteriore fattore di classificazione è relativo alle ipotesi alla base dei modelli. I modelli si dicono interpretativi o comportamentali se derivano da esplicite ipotesi sul comportamento di scelta degli utenti e non interpretativi o descrittivi se, invece, descrivono le relazioni fra la domanda e le variabili del sistema delle attività e del sistema di trasporto senza formulare ipotesi specifiche sul comportamento dei decisori. All'interno dei modelli di scelta comportamentali, un ruolo fondamentale è svolto ad oggi dai modelli di utilità aleatoria, detti RUM - Random Utility Model (Domencich e McFadden, 1975; McFadden, 2000). Prevalentemente, i modelli comportamentali appartengono alla classe dei modelli di scelta discreta (Ben Akiva e Lerman, 1985; 2003), definiti in funzione di: soggetto decisore; alternative di scelta; attributi e parametri delle alternative; aspetti statistici e probabilistici.

Negli ambiti definiti, la sequenza di modelli di gran lunga più utilizzata per simulare la domanda di trasporto è quella a quattro stadi, per cui la domanda di spostamento $d_{rc}^i[s, h, \tau, m, k]$ dall'origine r alla destinazione c , per utenti di categoria i , noti motivo s , periodo h , orario di partenza τ , modo m , percorso k viene espressa come prodotto di sottomodelli interconnessi (Cascetta, 2006).

Generalmente, tale sequenza di sottomodelli viene stimata e applicata per simulare condizioni ordinarie del sistema.

In letteratura, i modelli per la simulazione della domanda in condizioni di emergenza sono applicati, nella maggior parte dei casi, all'evacuazione in caso di uragani. I più comuni stimano la domanda di evacuazione a partire dai tassi di partecipazione ad evacuazioni realmente avvenute, mediante modelli di regressione (Irwin e Hurlbert, 1995; Johnson e Zeigler, 1986; Mei, 2002; Regional Development Service *et al.*, 1999). Nella pratica, vengono spesso utilizzate curve di risposta (Leik *et al.*, 1981; Lewis, 1985; Tweedie *et al.*, 1986; U.S. Army Corps of Engineers, 2000), che consentono di riprodurre la percentuale di evacuati per intervallo di tempo. Fu *et al.* (2007a), al fine di simulare l'evacuazione dovuta all'insorgere di un uragano, sviluppano una curva di risposta, sensibile alle caratteristiche dell'uragano, all'orario in cui si manifesta, al tipo di ordine di evacuazione e all'orario in cui viene dato.

Un avanzamento nella letteratura relativa alla domanda di evacuazione (Fu *et al.*, 2007b), è rappresentato dal lavoro di Fu e Wilmot (2004)¹. Essi propongono un modello di simulazione della domanda in condizioni di evacuazione, utilizzando un database riferito al passaggio dell'uragano Andrew nella Louisiana nell'Agosto 1992. Il modello consente di simulare la scelta congiunta di evacuare e dell'orario di evacuazione, mediante un approccio che simula le probabilità di scelta in intervalli di tempo successivi. I dati utilizzati si riferiscono alle caratteristiche socio – economiche della popolazione, al tipo e alla localizzazione della residenza, a precedenti esperienze maturate in merito a uragani, alla percezione del rischio, alla capacità di proteggere la propria abitazione, alla possibilità di ricevere l'ordine di evacuazione e al relativo orario di evacuazione. Fu *et al.* (2006) propongono un modello simile per la stima del numero di evacuanti a seguito di un uragano, basandosi su un database molto più ricco, relativo al passaggio dell'uragano Floyd nel sud della Carolina, nel Settembre 1999. Il contributo apportato, rispetto al modello precedente, deriva dal fatto che l'ordine di evacuazione è considerato una variabile dinamica nel tempo, per cui è possibile valutare la variazione delle probabilità di scelta degli utenti a seconda dell'ora e del giorno in cui l'ordine viene dato.

In questo articolo vengono messi a confronto i risultati conseguiti nelle due prove di evacuazione condotte nella fase di sperimentazione del progetto SICURO.

Di seguito vengono proposti: la descrizione delle procedure di pianificazione da attuare in condizioni di emergenza (sez. 2); i modelli proposti per la simulazione della domanda in condizioni di emergenza (sez. 3); la sperimentazione effettuata nell'ambito del progetto SICURO e i principali risultati ricavati (sez. 4).

2 ANALISI DI UN SISTEMA DI TRASPORTO IN CONDIZIONI DI EMERGENZA: PIANIFICAZIONE

Di seguito vengono proposte la descrizione generale della pianificazione in condizioni di emergenza e una classificazione degli effetti prodotti dall'evento disastro insorto nello spazio e nel tempo, fondamentale per l'adozione di adeguate procedure per la riduzione dell'esposizione.

2.1 Pianificazione dei trasporti in condizioni di emergenza

Per inquadrare il processo di pianificazione in condizioni di emergenza è necessario definire, in modo schematico, il percorso inter plan ed il percorso intra plan (Russo e Rindone, 2007). Il percorso inter plan è definito dalla sequenza dei piani approvati a differenti scale territoriali: la legge 225/92 stabilisce che le Regioni, attraverso normative regionali (LR), formulano gli

¹ Si veda anche Fu (2004).

indirizzi per la predisposizione dei Piani Provinciali di Emergenza (PPE); le province ed i comuni, sulla base degli indirizzi nazionali, regionali e provinciali, predispongono rispettivamente i Piani Provinciali di Protezione Civile (PPPC) ed i Piani Comunali di Protezione Civile (PCPC). Il risultato è piano di emergenza locale operativo e attuativo (figura 2)

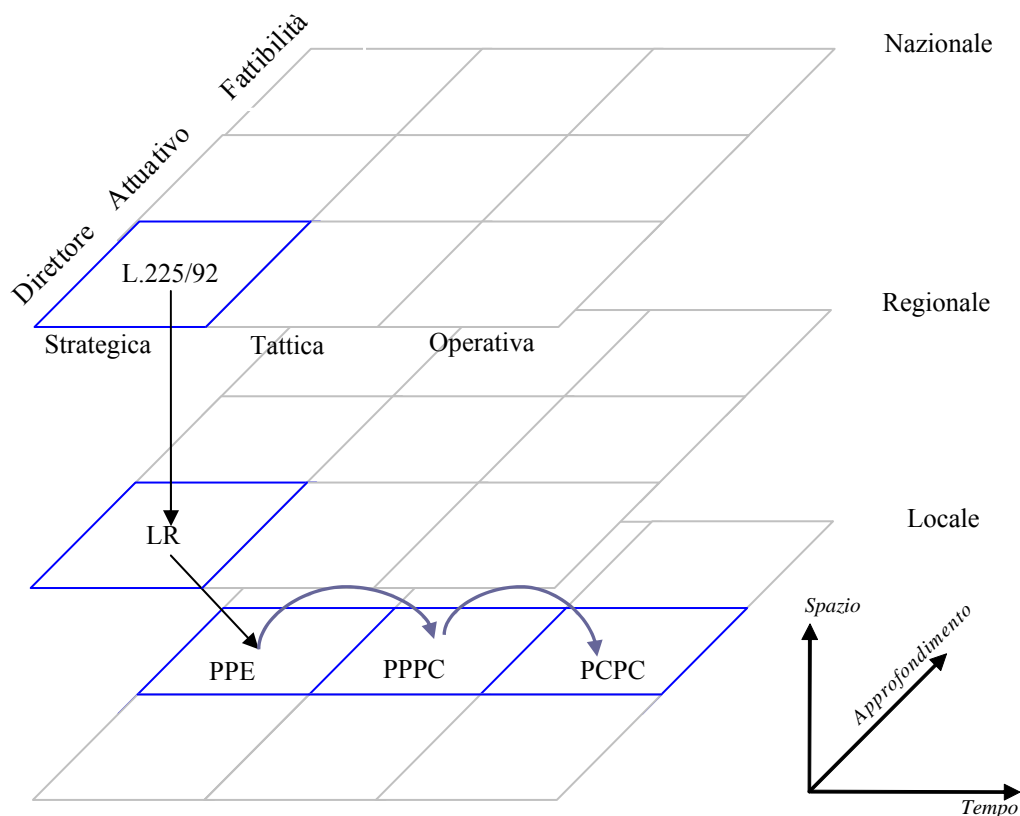


Figura 2 Esempio di dinamica esterna del processo di pianificazione dell'emergenza

Il percorso intra plan è definito dalle interazioni tra i soggetti coinvolti alla stessa scala territoriale: gli organi politici (PPP) hanno la responsabilità delle decisioni da adottare in condizioni di emergenza; gli organi tecnici, generalmente pianificatori (T1), sulla base degli indirizzi degli organi politici, predispongono una proposta di piano; la collettività partecipa nel processo di redazione ed approvazione del prodotto – piano (A).

Le linee guida prodotte nel progetto SICURO possono supportare la redazione di un piano di emergenza a scala locale. In particolare nelle linee guida è presentato un sistema di modelli che può essere applicato da organi tecnici, generalmente analisti (T2) per verificare gli obiettivi nel rispetto dei vincoli della pianificazione (Russo e Chilà, 2007c; Di Gangi e Velonà, 2007; Vitetta *et al.* 2007a; Vitetta *et al.* 2007b; Russo e Rindone 2007).

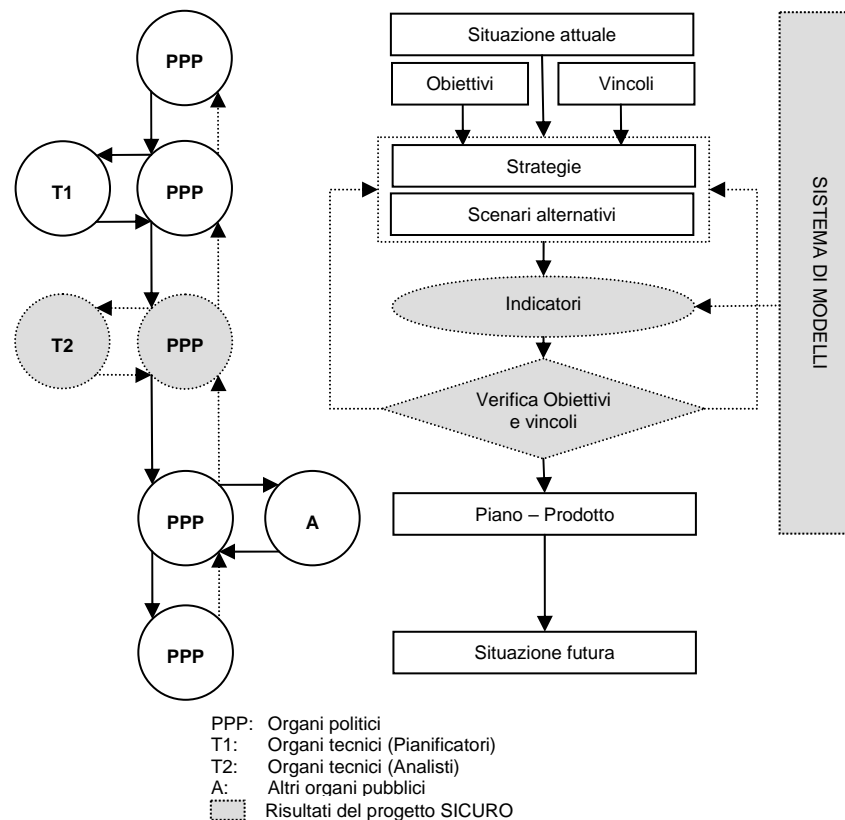


Figura 3 Sistema di modelli a supporto della dinamica interna del processo di pianificazione dell'emergenza

Il sistema di modelli messo a punto consente di analizzare, in termini di esposizione, gli effetti di un evento disastroso nello spazio e nel tempo.

2.2 Analisi degli effetti dell'evento disastroso nello spazio: approccio puntuale o di area

Gli effetti prodotti nello spazio dall'insorgere dell'evento disastroso possono essere:

- puntuali, se l'evento è localizzato in un'area ristretta del territorio e non influenza il sistema infrastrutturale dei trasporti; oppure, se pur interessando l'evento un'area ampia, è possibile definire un'area ristretta coincidente con un edificio ed è possibile individuare un sistema di trasporto interno all'edificio, connesso con un sistema di trasporto di altra scala relativa all'evento di area ampia (Di Gangi e Velonà, 2007);
- di area (diffusi), se l'evento è esteso ad una zona ampia del territorio ed è tale da influenzare il sistema infrastrutturale dei trasporti (Russo e Chilà, 2007b).

Esistono in letteratura linee guida per redigere piani di evacuazione relativi a differenti sistemi (singoli edifici, sistemi territoriali, sistemi di trasporto, sistemi industriali). Esistono inoltre numerosi piani di evacuazione adottati per differenti sistemi. Nella redazione di questi piani generalmente non si prevede di valutare ex ante le procedure di evacuazione attraverso metodi

quantitativi. Un esempio di linee guida per la pianificazione dell'emergenza è rappresentato dai prodotti del progetto SICURO, che riportano un insieme di indicazioni relative ai metodi quantitativi da utilizzare per la simulazione dei differenti scenari nel prodotto-piano cui si rivolgono.

2.3 Analisi degli effetti dell'evento disastroso nel tempo: approccio ritardato e immediato

Gli effetti prodotti dall'evento nel tempo variano in funzione dell'evoluzione temporale dello stesso evento. Si indichi con Δ l'intervallo all'interno di cui l'evento si evolve. All'interno di tale periodo è possibile individuare almeno quattro sub-intervalli $\Delta_0, \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$, definiti come:

$\Delta_0=[t_0, t_1)$ tra i tempi

t_0 istante di inizio delle attività di pianificazione dell'emergenza;

t_1 istante in cui si segnala la presenza di un evento potenzialmente disastroso;

$\Delta_1=[t_1, t_2)$ tra i tempi t_1 e

t_2 istante in cui l'evento disastroso si manifesta sul sistema;

$\Delta_2=[t_2, t_3)$ tra i tempi t_2 e

t_3 istante in cui non sono più possibili interventi di evacuazione;

$\Delta_3=[t_3, t_4]$ tra i tempi t_3 e

t_4 istante in cui l'evento cessa di produrre effetti diretti sul sistema.

I piani di evacuazione possono prevedere interventi da realizzare preventivamente rispetto all'istante in cui si verifica l'evento disastroso (Figura 4) (Russo e Rindone, 2007). Si tratta di interventi che riguardano l'offerta di trasporto (interventi preventivi). Per alcune tipologie di eventi, per cui esiste un intervallo di tempo ($\Delta_1+\Delta_2$), fra l'istante t_1 e l'istante t_3 , maggiore di zero (tsunami), è possibile produrre interventi da realizzare nell'intervallo di tempo $\Delta_1 + \Delta_2$. Questi interventi, nella maggior parte dei casi, riguardano la gestione della domanda di trasporto (interventi in corso), mentre gli interventi sull'offerta sono in genere più complessi e di tipo infrastrutturale e vanno posti in opera prima che l'evento accada (Δ_0).

Nell'ambito del lavoro svolto si sono considerati soltanto eventi con effetti nel tempo ritardati, che consentono interventi in corso, generalmente riconducibili ad interventi di gestione della domanda.

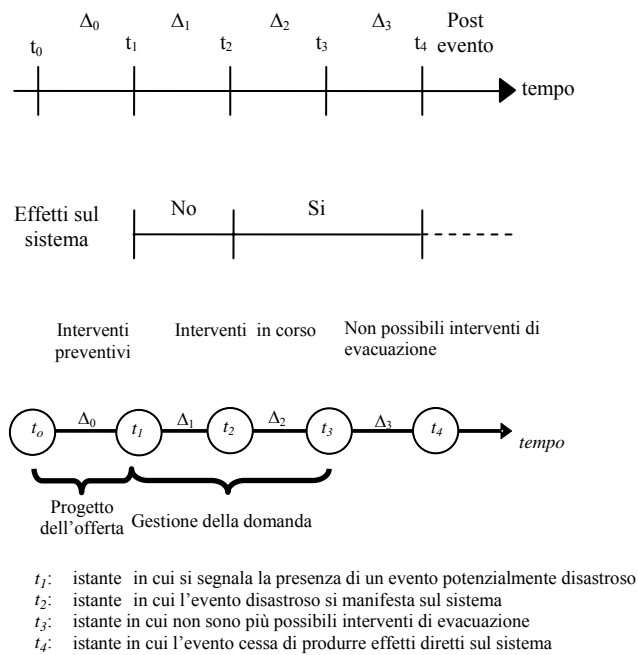


Figura 4 Suddivisione temporale relativa al manifestarsi di un evento calamitoso con analisi degli interventi

3 ANALISI DI UN SISTEMA DI TRASPORTO IN CONDIZIONI DI EMERGENZA: DOMANDA

In condizioni di emergenza, l'utilizzazione dei modelli di domanda comporta vari problemi, legati ai numerosi casi che possono determinare l'insorgere di uno stato di emergenza, alla difficoltà di riprodurre mediante modelli tutte le situazioni che possono presentarsi, all'imprevedibilità del comportamento umano, che può essere soggetto a fenomeni di paura e panico (Lavanco, 2003). In tale situazione, i modelli di domanda specificati e calibrati in condizioni ordinarie non possono essere applicati direttamente per diversi aspetti: molteplicità del soggetto decisore; alternative di scelta; attributi e parametri; aspetti statistici e probabilistici: quantità di varianza, eventuale presenza di covarianza, ipotesi sulla distribuzione dei residui aleatori.

Il modello a quattro stadi (Cascetta, 2006), generalmente utilizzato nella letteratura di riferimento per la simulazione della domanda in condizioni ordinarie, può essere alterato sia in termini di sottomodelli considerati, sia in termini di ordine tra le dimensioni di scelta simulate. Si può verificare, ad esempio, che talune dimensioni di scelta non siano indipendenti per il generico utente, ma avvengano contestualmente, sulla base della conoscenza che egli ha del sistema, dell'informazione ricevuta, delle relative condizioni socio-economiche (Russo e Chilà, 2007b; Russo e Chilà, 2007c).

È necessario inoltre richiamare la possibilità di utilizzare modelli nidificati di vario livello, che possono consentire di individuare meglio il grado di covarianza dei differenti livelli dimensionali rispetto ai relativi valori di soddisfazione.

Un ulteriore aspetto da considerare è relativo alla scelta della destinazione. Rispetto ai casi consolidati ed ordinari, in cui la destinazione scelta per svolgere un'attività è un'area omogenea che include diverse alternative elementari, in condizioni di emergenza le destinazioni sono punti prefissati a priori dal gestore del sistema, dalle forze dell'ordine o individuati dal generico utente o dall'analista del sistema. Questo aspetto rende inadeguati i modelli di scelta della destinazione presenti in letteratura, ed evidenzia la necessità di considerare lo stesso modello di destinazione secondo due differenti approcci:

- per simulare la distribuzione degli utenti tra più aree di attesa prefissate dal gestore del sistema;
- per simulare la distribuzione degli utenti tra le aree di attesa prefissate dal gestore del sistema e tra altre aree non prefissate dal gestore.

La definizione di un modello di domanda per condizioni di emergenza deve tener conto inoltre dell'eventuale presenza di vincoli imposti dal gestore del sistema, che possono essere imposti in corrispondenza di ogni dimensione di scelta simulata.

In questo lavoro, per la simulazione della domanda si è ipotizzato di seguire l'approccio di serializzazione della scelta e quindi dei modelli, in modo da poter identificare per ogni dimensione gli aspetti modificati rispetto alle condizioni ordinarie e per poter fornire al contempo uno strumento utile alla ricerca applicata ed al trasferimento diretto nell'ambito di metodologie consolidate e comunque ancora non sufficientemente diffuse. Di seguito vengono proposti:

- un modello di emissione;
- un modello di distribuzione;
- un modello di scelta modale.

Viene inoltre fatto un primo tentativo di specificazione, calibrazione e validazione di un modello di scelta congiunto del modo e della destinazione.

I modelli sono specificati differenzialmente per le seguenti categorie di utenti:

- utenza autonoma, che comprende residenti, addetti (ad eccezione dell'utenza scuola, che costituisce una categoria a sé stante), e avventori;
- utenza scuola;
- utenza debole.

3.1 Modello di emissione

Il modello di emissione proposto consente:

- la stima degli utenti presenti nell'area da evacuare, in un dato periodo di riferimento h ;

- la stima degli utenti presenti disposti ad evacuare.

Il soggetto decisore coincide con il generico cittadino utente.

L'insieme di scelta è costituito dalle seguenti alternative:

- non essere presente nell'area al momento dell'evacuazione, cioè nel periodo temporale $t_1 < t < t_3$;
 - essere presente nell'area al momento dell'evacuazione, cioè nel periodo temporale $t_1 < t < t_3$;
- e per gli utenti presenti nell'area:
- effettuare l'evacuazione dalla zona di appartenenza;
 - non effettuare l'evacuazione.

L'approccio considerato è di tipo statistico descrittivo, formalmente espresso come:

$$d_r^i[sh] = n_r^i[sh] \cdot m_e^i[rsh]$$

con

$m_e^i[rsh]$ numero medio di spostamenti per il motivo s nel periodo di riferimento h , in condizioni di emergenza, che può essere stimato direttamente oppure espresso come:

$$m_e^i[rsh] = \sum_j \alpha_j \cdot X_{jr}^i$$

dove X_{jr}^i rappresenta variabili socio-economiche relative ai cittadini utenti di categoria i presenti nella zona r nel periodo di riferimento h dato il motivo s ; α_j parametri da calibrare.

Si noti che, in condizioni di emergenza, i coefficienti $m_e^i[rsh]$ potrebbero assumere un valore significativamente diverso da quello assunto in condizioni ordinarie del sistema $m_o^i[rsh]$, poiché diverse sono le categorie di utenti che devono essere considerate.

Si supponga, ad esempio, che un evento disastroso insorga, in una determinata area, in una fascia oraria mattutina h compresa tra le 9.00 e le 10.00. In tale situazione, gli utenti da evacuare saranno determinati dagli addetti nell'area, dal personale di eventuali scuole presenti, da visitatori occasionali (avventori) e dall'aliquota di residenti che non si è già spostata all'esterno dell'area, per motivi di lavoro o altro, ovvero, presumibilmente, dalle casalinghe, dai pensionati, dai bambini e da eventuali utenze deboli.

Sulla base di tale considerazione, un ulteriore approccio per la stima del modello di emissione, in relazione alla categoria dei residenti, si basa sull'utilizzo dei coefficienti di emissione stimati per condizioni ordinarie, e prevede che si sottragga, dal totale di residenti nell'area, il totale di utenti residenti che, nella fascia oraria di riferimento, si ritiene possano trovarsi all'esterno della stessa.

Formalmente, il modello può essere espresso come:

$$d_r^i[sh] = \left\{ n_r^R - \left[n_r^i[sh] \cdot m_o^i[rsh] \right] \right\} \cdot m_e^R[rsh]$$

dove

n_r^R è il numero di residenti nell'area;

$m_o^i[rsh]$ è il numero medio di spostamenti per il motivo s nel periodo di riferimento h , in condizioni ordinarie;

$m_c^R[\text{rsh}]$ è un coefficiente correttivo, stimato per condizioni di emergenza, che tiene conto di eventuali errori nell'individuazione di motivi dello spostamento significativi nella fascia oraria considerata.

La suddivisione dei residenti in categorie e l'individuazione delle componenti di utenza precedentemente indicate facilita tale operazione.

Le categorie di utenti da sottrarre al totale di residenti nell'area sono strettamente connesse con il periodo di riferimento h e, pertanto, con gli spostamenti ritenuti significativi durante lo stesso.

Stimato il numero di utenti presenti nell'area di studio nel periodo di riferimento, è possibile valutare il numero di utenti disponibili ad evacuare con un approccio di tipo statistico descrittivo, stimando dei coefficienti di disponibilità ad evacuare ξ^i , per ogni categoria i di utenti individuata.

Gli attributi del modello possono essere suddivisi in tre classi:

- socio-economici;
- di livello di servizio;
- attributi specifici dell'alternativa (ASA).

3.2 Modello di distribuzione

Il modello di distribuzione consente di stimare l'aliquota di utenti che, data un'origine, un periodo di riferimento, un motivo dello spostamento, si dirige verso una determinata destinazione.

Il modello di distribuzione proposto, rispetto agli usuali modelli di distribuzione presenti in letteratura, non simula la scelta del generico cittadino utente tra aree omogenee, ma tra punti discreti, prestabiliti dal gestore del sistema. Pertanto, può intendersi finalizzato a simulare il comportamento dell'utente in relazione alla possibilità che egli segua o meno eventuali indicazioni fornitegli.

Analogamente a quanto fatto per i modelli precedenti, anche il modello di distribuzione è stato specificato in modo diverso per i tre gruppi: utenza autonoma; utenza scuola; utenza debole.

Per l'utenza scuola e l'utenza debole è stato proposto un modello deterministico di scelta della destinazione, nell'ipotesi che il gestore abbia ottimizzato l'evacuazione, definendo a priori le relative aree di attesa.

Per la categoria utenza autonoma si è supposto:

- il cittadino utente come soggetto decisore;
- un insieme di scelta che include le alternative: area di attesa prestabilita a priori dal gestore del sistema (cf); altra area di attesa non prestabilita dal gestore del sistema (ncf);
- un approccio comportamentale, con residui aleatori ε_j indipendentemente e identicamente

distribuiti secondo una Gumbel di media zero e di parametro θ ;

- attributi e parametri relativi alle caratteristiche socio – economiche dei cittadini utenti.

L' utilità sistematica delle alternative può essere specificata come:

$$V_{cf} = \beta_L \cdot L + \beta_{DONNA} \cdot DONNA$$

$$V_{ncf} = \beta_{r10} \cdot r10$$

con

$r10$ variabile ombra per la zona di origine 10;

$DONNA$ variabile ombra pari a 1 se il generico cittadino utente è una donna, a zero altrimenti;

L variabile economica funzione del livello professionale.

3.3 Modello di scelta modale

Il modello di scelta modale consente di stimare l' aliquota di cittadini utenti che scelgono un determinato modo di trasporto per recarsi da un' origine ad una destinazione, dato un insieme di alternative disponibili.

Il modello proposto, così come il precedente, è stato specificato differentemente per i tre gruppi di utenza: utenza autonoma; utenza scuola; utenza debole.

Per l'utenza scuola e l'utenza debole è stato proposto un modello deterministico di scelta del modo.

In particolare, si ipotizza che l'utenza scuola si sposti con scuolabus e che l'utenza debole si sposti con veicoli di emergenza.

Per l'utenza autonoma si suppone :

- il cittadino utente come soggetto decisore;
- un insieme di scelta che include le alternative auto e piedi;
- un approccio comportamentale, con residui aleatori ε_j indipendentemente e identicamente distribuiti secondo una Gumbel di media zero e di parametro θ ;
- attributi e parametri relativi al livello di servizio della rete, alle caratteristiche socio – economiche dei cittadini utenti e attributi specifici delle alternative (ASA).

Sono stati calibrati diversi modelli di scelta modale, che possono essere suddivisi in due classi:

- modello operativo, calibrato considerando i dati relativi all'intera popolazione;
- modello esplicativo, calibrato considerando i dati relativi a gruppi di cittadini utenti, in particolare ad addetti del settore pubblico.

Di seguito vengono descritte alcune specificazioni del modello.

Specificazione operativa

$$V_{\text{piedi}} = \beta_{\text{TP}_{\text{rc}}} \cdot \text{TP}_{\text{rc}}$$

$$V_{\text{auto}} = \beta_{\text{TS}_{\text{rc}}} \cdot \text{TS}_{\text{rc}} + \beta_{\text{auto}} \cdot \text{auto}$$

con

TP_{rc} tempo sulla rete pedonale dall'origine all'area di attesa c;

TS_{rc} tempo sulla rete stradale dall'origine all'area di attesa c;

auto attributo specifico dell'alternativa.

Specificazione esplicativa

$$V_{\text{piedi}} = \beta_{R_5} \cdot R_5 + \beta_{\text{DONNA}} \cdot \text{DONNA} + \beta_{D_{\text{rc}}} D_{\text{rc}}$$

$$V_{\text{auto}} = \beta_L \cdot L + \beta_{\text{CLav}} \cdot \text{CLav}$$

con

D_{rc} distanza in linea d'aria tra l'origine r e l'area di attesa c;

R_5 variabile ombra pari a se il generico utente ha un'età compresa tra 25 e 45 anni;

DONNA variabile ombra pari a 1 se il generico cittadino utente è una donna, a zero altrimenti;

L variabile economica funzione del livello professionale;

CLav variabile ombra uguale a 1 se il generico addetto utilizza l'auto per recarsi sul posto di lavoro, 0 altrimenti.

3.4 Modello di scelta del modo e della destinazione

Rispetto ai modelli di domanda presenti in letteratura, in questo lavoro si è proposto un primo esempio di calibrazione di un modello di scelta congiunto del modo e della destinazione, ipotizzando che, in condizioni di emergenza, gli utenti effettuino contestualmente tali scelte.

Il modello è stato specificato diversamente per i tre gruppi di utenza precedentemente indicati.

Per l'utenza scuola e l'utenza debole è stato proposto un modello deterministico di scelta del modo e della destinazione, nell'ipotesi che il gestore abbia ottimizzato l'evacuazione, definendo a priori aree di attesa, che i cittadini utenti sono obbligati a raggiungere, e relativi modi di trasporto. Si è supposto inoltre che tutti gli utenti appartenenti a tali categorie ne seguano le indicazioni.

Per la categoria utenza autonoma si è supposto di considerare il generico cittadino utente come soggetto decisore e, per quanto concerne la distribuzione, si è verificata la disponibilità del generico utente a seguire le indicazioni del gestore.

L'insieme di scelta considerato è costituito dalle alternative:

- cf,auto: insieme delle aree di attesa prefissate dal gestore del sistema con auto;
- cf,piedi: insieme delle aree di attesa prefissate dal gestore del sistema con piedi;
- ncf,piedi: insieme delle aree di attesa non prefissate dal gestore del sistema con piedi.

L'alternativa ncf,auto non si è ritenuta significativa, avendo ipotizzato che gli utenti, recandosi presso un'area di attesa diversa da quello consigliata dal gestore, scelgano un luogo vicino, facilmente raggiungibile a piedi.

Riguardo gli aspetti statistici e probabilistici del modello, è stato considerato un approccio comportamentale, con residui aleatori ε_j indipendentemente e identicamente distribuiti secondo una variabile di Gumbel di media nulla e parametro θ ;

Di seguito è proposto un esempio di specificazione del modello.

$$V_{cf,piedi} = \beta_{TP_{r,cf}} \cdot TP_{r,cf}$$

$$V_{ncf,piedi} = \beta_{TP_{r,ncf}} \cdot TP_{r,ncf}$$

$$V_{cf,auto} = \beta_{TS_{r,cf}} \cdot TS_{r,cf}$$

con

$TP_{r,cf}$ tempo sulla rete pedonale dall'origine all'area di attesa cf;

$TP_{r,ncf}$ tempo sulla rete pedonale dall'origine all'area di attesa ncf;

$TS_{r,cf}$ tempo sulla rete stradale dall'origine all'area di attesa cf.

La stima dei modelli proposti nell'ambito dello studio della mobilità è certamente un problema di complessità notevole. Sia per gli eventi prevedibili che per quelli non prevedibili, una complicazione è costituita dalla difficoltà di considerare un certo numero di imprevisti che condizionano sensibilmente l'evacuazione, quali il mancato rispetto, da parte di un'aliquota della popolazione, delle indicazioni e degli obblighi imposti, il verificarsi di incidenti stradali anche non gravi, l'inefficienza di alcuni veicoli, il sovrapporsi delle indicazioni dei decisori o le contraddittorietà di alcune.

È importante quindi, per la stima di un modello di domanda in condizioni di emergenza, la conoscenza del comportamento dei cittadini utenti. A tal fine è necessario la rilevazione dello stesso attraverso specifiche indagini.

Le indagini utilizzate per ottenere informazioni elementari con cui stimare i modelli possono essere suddivise in due gruppi:

- indagini sulle preferenze rilevate (RP – Revealed Preferences), relative ai comportamenti effettivamente rilevati o dimostrati dagli utenti in un contesto reale;
- indagini sulle preferenze dichiarate (SP – States Preferences), relative ai comportamenti dichiarati dagli utenti in contesti ipotetici.

In generale, rispetto a quanto avviene in condizioni ordinarie, per la stima di un modello di domanda in condizioni di emergenza non è possibile effettuare indagini di tipo RP, in cui siano richieste informazioni relative agli spostamenti effettuati nei giorni precedenti quello dell'intervista o rilevati, perché tali informazioni sono comunque riferite a condizioni ordinarie del sistema. L'utilizzo di indagini RP può essere esclusivamente condizionato all'organizzazione di prove di evacuazione nell'area di studio, a seguito di cui è possibile

rilevare le caratteristiche degli spostamenti effettuati, ma comunque in questo caso si tratta sempre di esperimenti che, dal punto di vista probabilistico, implicano l'effetto laboratorio, cioè anche l'utente più disponibile alla partecipazione è consapevole di non essere coinvolto in una reale situazione di pericolo. Tali indagini possono essere considerate delle dichiarazioni di cosa si farebbe in caso di emergenza e quindi una sorta di SP con risposta fisica. Per maggiori approfondimenti in merito si rinvia a Russo e Chilà (2007).

4 SPERIMENTAZIONE

Il sistema prototipale di modelli sviluppato nell'ambito del progetto SICURO è stato specificato e calibrato in un'area urbana. Di seguito si pone l'attenzione soltanto sui modelli di domanda.

L'area oggetto della sperimentazione si trova nel Comune di Melito di Porto Salvo che si estende per 35.30 km². In quest'area risiedono 10483 abitanti e svolgono attività 2432 addetti (Tabella 1).

La sperimentazione è stata condotta attraverso le seguenti fasi:

- individuazione di un evento disastroso da simulare con effetto differito nel tempo e delimitazione dell'area da evacuare;
- raccolta dei dati necessari per la specificazione e la calibrazione dei modelli;
- test di evacuazione;
- calibrazione e validazione dei modelli, principali risultati.

Individuazione di un evento disastroso da simulare con effetto differito nel tempo e delimitazione dell'area da evacuare

L'evento simulato durante la sperimentazione riguarda i potenziali effetti prodotti da un veicolo-cisterna che trasporta benzina. Si è ipotizzato che il veicolo, mentre percorre il centro urbano in un periodo temporale compreso tra le 8:00 e le 10:00, sia soggetto ad un'avaria meccanica. A seguito dell'avaria, un flusso di benzina fuoriesce dalla cisterna. Vengono allertati gli organi di protezione civile.

Si tratta di un evento di tipo a) secondo la classificazione della legge 225/92. Per questa tipologia di evento è il Sindaco l'autorità comunale in materia di protezione civile.

Il Sindaco acquisisce le informazioni sull'area di impatto, sull'entità degli effetti che potrebbero essere prodotti a seguito della fuoriuscita di benzina e della potenziale esplosione.

I potenziali effetti dell'evento ipotizzato interessano un'area circostante il luogo in cui è fermo il veicolo. L'area ha un'estensione di circa 0.04 km². In questa area si trovano una scuola elementare ed un edificio comunale, entrambi sviluppati su due piani, un edificio dell'Agenzia delle Entrate, un edificio del Tribunale di Reggio Calabria (sezione distaccata),

edifici residenziali e commerciali. I residenti e gli addetti presenti nell'area, secondo i dati del censimento ISTAT del 2001, risultano rispettivamente pari a 255 e 225 (Tabella 1).

Tabella 1 Caratteristiche dell'area da evacuare

	Comune	Area da evacuare
Superficie [km ²]	35.30	0.04
Popolazione	10483	255
Addetti	2432	225

Il Sindaco, sulla base delle informazioni acquisite, decide di evacuare l'area, adottando le misure previste nel Piano Comunale di Protezione Civile.

Raccolta dei dati necessari per la specificazione e la calibrazione dei modelli

Nell'ambito di questo lavoro, per la stima dei modelli sono state effettuate:

- indagini RP pre-evento, al fine di reperire informazioni di tipo socio-economico per ciascuna categoria di utenti individuata nell'area da evacuare;
- indagini RP post-evento, al fine di ricavare informazioni sintetiche relative allo spostamento di evacuazione effettuato, ad esempio, durante una prova, correlando le modalità di evacuazione con le caratteristiche socio – economiche del generico cittadino utente. Tali schede possono essere considerate alla stregua di schede di indagini SP con risposta fisica;
- indagini SP pre-evento, al fine di valutare per ogni categoria considerata, dati tipologia di evento disastroso, effetti nel tempo e nello spazio, eventuale presenza di vincoli, periodo di riferimento, i seguenti dati:
 - l'abituale presenza di cittadini utenti nell'area e nel periodo considerati;
 - l'eventuale disponibilità dei cittadini ad evacuare;
 - le modalità di evacuazione, in relazione alla scelta del modo di trasporto e della destinazione.

Test di evacuazione

Sono stati condotti due differenti test di evacuazione in due giornate distinte:

- una prima giornata in cui sono stati coinvolti nell'evacuazione il Comune, l'Agenzia delle Entrate e la Scuola Elementare (pre-test);
- una seconda giornata in cui sono stati coinvolti nell'evacuazione tutti gli edifici compresi nell'area individuata (test).

L'insieme delle elaborazioni rilevate ha consentito di calibrare il sistema di modelli costruiti nel progetto SICURO.

Si tratta di un evento con effetti ritardati nel tempo e diffusi nello spazio.

Calibrazione e validazione dei modelli, principali risultati

I parametri dei modelli sono stati calibrati con il metodo dei minimi quadrati, per quanto concerne il modello di generazione, e con il metodo della massima verosimiglianza, per quanto concerne i modelli di distribuzione e scelta modale.

Il modello proposto è stato validato verificando la ragionevolezza e la significatività dei coefficienti stimati, così come la capacità del modello di riprodurre le scelte effettivamente compiute dagli utenti.

In questo lavoro sono stati applicati test informali e formali, tra cui il test t-student ed il test rho-quadro.

Nella tabella 3 vengono proposti in sintesi i parametri calibrati per i modelli di domanda proposti. Nella tabella 4 vengono presentati i principali risultati ricavati, in termini di percentuali di scelta rispetto al totale di utenti coinvolti nella sperimentazione per i vari modelli stimati.

Il valore aggiunto di questo lavoro deriva dall'aver fornito uno strumento utile per la pianificazione dell'emergenza, in termini di definizione di un modello per la simulazione della domanda di trasporto in condizioni di emergenza, applicabile per definire e testare i piani di evacuazione di differenti contesti urbani.

La struttura del modello proposto è soddisfacente per ogni categoria di utenti considerata.

L'incremento dei database utilizzati per la stima dei modelli può consentire di testare differenti situazioni di emergenza, dando origine ad un processo trial and error di confronto e miglioramento continuo dei risultati conseguiti.

È importante evidenziare come, a seguito dell'effettuazione della prima prova, la sperimentazione, da parte del Comune di Melito Porto Salvo, del proprio Piano di Protezione Civile, ha consentito una riduzione dei tempi di attivazione delle procedure di evacuazione. La loro ottimizzazione rappresenta sicuramente un risultato estremamente significativo, che può essere ottenuto soltanto attraverso un'adeguata pianificazione dell'emergenza.

Tabella 3 Parametri calibrati

Attributi		Emissione	Scelta modale	Distribuzione	Scelta modale con distribuzione
Socio - economici	Numero di attivi in famiglia	X			
	Numero di studenti in famiglia	X			
	Numero di casalinghe in famiglia	X			
	Numero di pensionati in famiglia	X			
	Numero di residenti con età tra i 5 e i 14 anni	X			
	Numero di residenti con età tra i 15 e i 19 anni	X			
	Numero di residenti con età tra i 20 e i 24 anni	X			
	Numero di residenti con età tra i 25 e i 64 anni	X			
	Numero di residenti di età superiore a 64 anni	X			
	Numero di famiglie	X			
	Numero di addetti	X			
	Numero di studenti e insegnanti	X			
	Numero di utenti deboli	X			
	Variabile ombra addetto		X	X	X
	Variabili ombra per addetti con età nel rango i-esimo		X	X	X
	Variabile ombra economica (livello professionale)		X	X	X
	Variabile ombra possesso patente		X		
	Variabile ombra possesso patente		X		
	Variabile ombra per cittadini utenti donne		X	X	X
Livello di	Tempo sulla rete pedonale dall'origine all'area di attesa		X		
	Tempo sulla rete stradale dall'origine all'area di attesa		X		
	Distanza in linea d'aria dall'origine all'area di attesa		X	X	
	Distanza su rete dall'origine all'area di attesa		X		
	Variabile ombra per zona di origine			X	
	Accessibilità della rete				
ASA		X	X	X	X

Tabella 4 Principali risultati ricavati

Categoria di utenti	Generazione		Distribuzione		Scelta modale		
	Presenti nell'area	Disponibili ad evacuare	Centro di raccolta fissato dal gestore	Centro di raccolta non fissato dal gestore	Auto	Piedi	Bus o Veicoli di emergenza
Residenti	37%	39%	84%	16%	80%	20%	
Addetti	77%	75%	84%	16%	80%	20%	
Avventori	80%	67%	84%	16%	80%	20%	
Utenza Scuola	92%	100%	100%				100%
Utenza Debole	100%	100%	100%				100%

5 BIBLIOGRAFIA

- Ben Akiva M., Lerman S. (1985), *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*. The MIT Press, Cambridge. ISBN 0-262-02217-6.
- Cascetta E. (2006), *Modelli per i sistemi di trasporto. Teoria e applicazioni*. UTET, Torino. ISBN 88-6008-012-6.
- Decreto Legislativo 31 marzo 1998, n. 112. Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59. Pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale n. 92 del 21 aprile 1998. Supplemento Ordinario n. 77* (Rettifica G.U. n. 116 del 21 maggio 1997)
- Di Gangi M., Velonà P. (2007), *Deflusso pedonale negli edifici in condizioni di emergenza. Modelli e metodi per la simulazione, applicazione ad un caso reale*. FrancoAngeli, Milano.
- Domencich T.A., McFadden D. (1975), *Urban travel demand: a behavioural analysis*. American Elsevier, New York. ISBN 0-444-10830-0.
- Fu H. (2004), Development of dynamic travel demand models for hurricane evacuation. http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-04092004-81738/unrestricted/Fu_dis.pdf.
- Fu H., Wilmot C. G., Zhang H. (2007a), Modeling the Hurricane Evacuation Response Curve. In *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*.
- Fu H., Wilmot C. G. (2004), A sequential logit dynamic travel demand model for hurricane evacuation. In *TRB 2004 Annual Meeting*, Washington, D.C.
- Fu H., Wilmot, C. G. (2007b), Static Versus Dynamic and Aggregate Versus Disaggregate: A Comparison Between Practice and Research in Hurricane Evacuation Travel Demand Modeling. In *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*.
- Fu H., Wilmot, C. G., Baker E. J. (2006), Sequential Logit Dynamic Travel Demand Model and Its Transferability. In *Transportation Research Record*, Volume 1964 / 2006 pp.17-26.
- Gottman J. M., Roy K. A. (1990), *Sequential Analysis*. Cambridge University Press, New York. ISBN 0-521-34665-7.
- Irwin, M., Hurlbert, J. (1995) *A Behavioral Analysis of Hurricane Preparedness and Evacuation in Southwestern Louisiana*. Louisiana Population Data Center.
- ISTAT (2005) Censimento 2001 – Censimento popolazione ed abitazioni (www.istat.it).
- Johnson, J., Zeigler, D. (1986) Modeling Evacuation Behavior during the Three Mile Island Reactor Crisis. *Socio-Economic Planning Science*, 20 (3), pp. 165-171.
- Lavanco G. (2003), *Psicologia dei disastri. Comunità e globalizzazione della paura*. Franco Angeli, Milano. ISBN 88-464-4340-3
- Legge 24 febbraio 1992, n. 225. Istituzione del Servizio nazionale della protezione civile. Pubblicata nella *Gazzetta Ufficiale n. 64 del 17 marzo. Supplemento Ordinario*
- Leik, R., Carter, T., Clark, J. (1981) *Community Response to Natural Hazard Warnings*. University of Minnesota, Minneapolis, MN.

- Lewis, D. (1985) Transportation Planning for Hurricane Evacuations. *ITE Journal*, pp. 31-35.
- McFadden (2000), Disaggregate behavioural travel demand's RUM side. A 30 year retrospective. <http://emlab.berkeley.edu/users/mcfadden/dlmcv10.html>.
- Mei, B. (2002) *Development of Trip Generation Models of Hurricane Evacuation*. Master Thesis, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana.
- Ministero dei Trasporti (2007), *Piano Generale della Mobilità. Linee guida*. www.trasporti.gov.it (giugno 2008)
- Regional Development Service (RDS), Department of Sociology, and Department of Economics (1999), *Executive Summary of A Socioeconomic Hurricane Impact Analysis and A Hurricane Evacuation Impact Assessment Tool (methodology) for Coastal North Carolina: A Case Study of Hurricane Bonnie*. East Caroline University, Greenville, NC.
- Russo F. (1999), Modelli di scelta del percorso sequenziali per l'assegnazione dinamica a reti di servizi di trasporto collettivo urbano. In *Metodi e Tecnologie dell' Ingegneria dei Trasporti*, Seminario 1999. Cantarella G.E., Russo F. (a cura di), FrancoAngeli, Milano, pp. 151-165. ISBN 88-464-2643-6.
- Russo F. (a cura di) (2004), *Evacuazione dei sistemi urbani. Metodi quantitativi per l'analisi di un sistema di trasporto in condizioni di emergenza*. FrancoAngeli, Milano. ISBN 88-464-5348-4.
- Russo F., Chilà G. (2007a), Sequential models for the mobility decisions: experimentation for the vehicle holding choices. In *European Transport Conference 2007*, The Netherlands.
- Russo F., Chilà G. (2007b), Safety of users in road evacuation: demand model. In *Urban Transport XIII*; Brebbia C. A. (ed.), WIT Press, pp. 773-782, ISBN 978-184564-087-3, e in *Urban Transport: Safety of Users in Road Evacuation*, Russo F. (ed.), WIT Press, pp.11-20.
- Russo F., Chilà G. (2007c), *Domanda di trasporto in condizioni di emergenza*, FrancoAngeli, Milano.
- Russo F., Rindone C. (2007), *Dalla pianificazione alla progettazione dei sistemi di trasporto: processi e prodotti*, FrancoAngeli, Milano.
- Russo F., Vitetta A. (1996), The road network design problem to improve the safety during exogenous flow perturbations. In *Proceedings of the 29th ISATA Conference*, Florence.
- Russo F., Vitetta A. (2005), Risk in anthropic environments: methodologies for risk evaluation and exposition reduction. In *Proceedings of Enviromental Health Risk III*. Brebbia C. A., Popov V., Fayzieva D. (eds), WIT Press, Boston, pp. 31-40. ISBN 1-84564-026-8.
- Russo F., Vitetta A. (2007), Safety of users in road evacuation: general methodology and main results. In *Urban Transport XIII*, Brebbia C.A. (ed.), WIT Press, pp. 763-772, ISBN 978-184564-087-3, e in *Urban Transport: Safety of Users in Road Evacuation*, Russo F. (ed.), WIT Press, pp.1-10, 2007.

- Train K. (2003), *Discrete choice methods with simulation*. The MIT Press, Cambridge. ISBN 0-521-81696-3.
- Tweedie, S., Rowland, J., Walsh, S., Rothen, R. (1986) A Methodology for Estimating Emergency Evacuation Times. *The Social Science Journal*, 23 (2), pp. 189-204.
- U.S. Army Corps of Engineers (2000), *Alabama Hurricane Evacuation Study Technical data Report: Behavioral Analysis*. Final Report.
- Vitetta A., Assumma, V., Quattrone, A., Polimeni, A. (2007a), *Progetto dei percorsi e delle aree di attesa. Modelli e metodi per la simulazione, applicazione ad un caso reale*. Franco Angeli, Milano.
- Vitetta A., Musolino G., Marcianò A. (2007b), *Offerta e interazione tra domanda e offerta nei sistemi di trasporto in condizioni di emergenza. Modelli e metodi per la simulazione, applicazione ad un caso reale*. FrancoAngeli, Milano.

ABSTRACT

The paper presents some results obtained in the research project SICURO carried out by LAST (Laboratory for Transport Systems Analysis) of Mediterranean University of Reggio Calabria (Italy). The general objective of the project is risk reduction in urban areas in terms of exposure through the definition and the implementation of evacuation procedures.

In particular the subjects discussed in this paper concern the transportation planning and the demand analysis when a population have to evacuate due to a forthcoming disaster.

A structured process to plan an urban system in emergency conditions is presented. The internal planning process is described with reference to planning dimensions and to a generic product-plan component. Interventions for evacuation planning depend on events that generate emergencies. Events can be classified in relation to:

- effects in space, which can be punctiform or diffuse;
- effects in time, which can be immediate or delayed.

In this work diffuse effects in space and delayed effects in time have been considered: for these events it is possible to implement interventions in the defined time gap.

In most cases such interventions concern demand management (ongoing interventions).

Demand management and simulation involves various problems connected with most cases that may lead to a state of emergency. Demand models specified, calibrated and validated in ordinary conditions cannot be directly applied for several reasons: multiplicity of decision-makers; choice set definition; attributes and parameters; statistical and probabilistic aspects. Moreover, the analyst must consider possible targets set by a possible public decision-maker, in order to reduce system management costs, maximise the system utility and reduce traffic incidents.

In this note we have proposed a formal demand model analysis subdivided into the following sub-models: generation; distribution; modal split. Moreover, we have proposed a first version of a model which simulates the modal split with the distribution.

The proposed models have been calibrated using data observed during a real simulation of evacuation executed in the experimental test site of Melito di Porto Salvo (Reggio Calabria, Italy).

All models have been specified, calibrated and validated, considering a morning period of reference, for the following user's categories: independent users (residents, employees, occasional customers); weak users; school staff and pupils.

Proposed models can support the planning process in emergency conditions, to verify evacuation plans in different urban contexts.

Some applications are carried out in order to reproduce evacuation phases observed in the experimental test site of Melito di Porto Salvo as regards the subjects discussed.