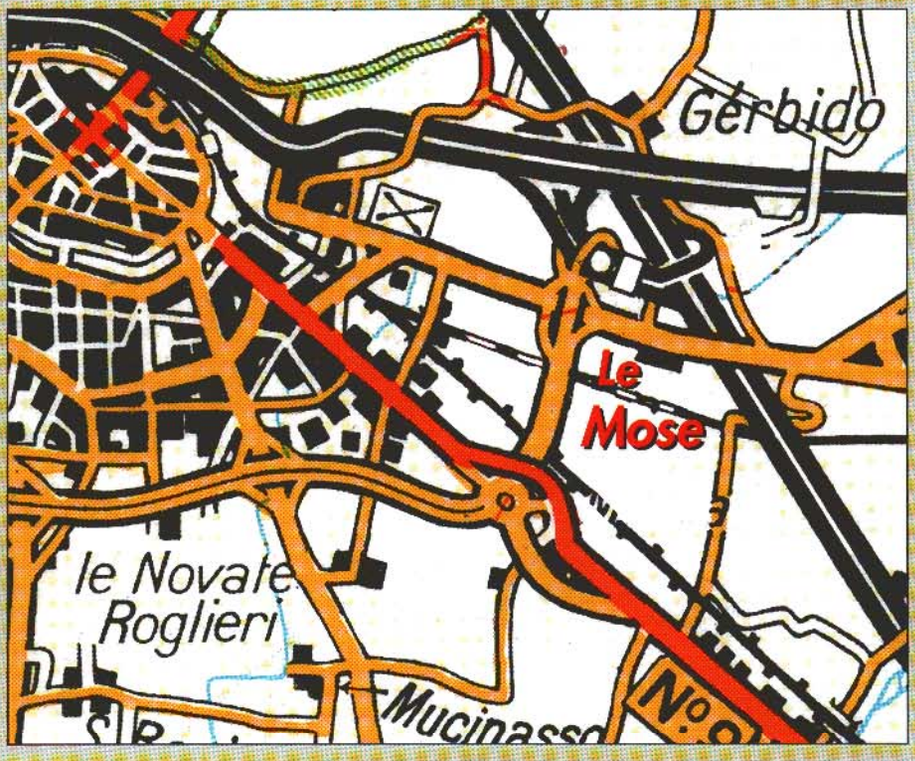
CENTRO
PER LO SVILUPPO
DEL POLO DI PIACENZA

T&T

1
marzo
2004

TRASPORTI & TERRITORIO

Scienze, Tecnologie, Politiche per la mobilità



Metodologia AHP-fuzzy per l'identificazione delle priorità di intervento sui principali aspetti del servizio di trasporto pubblico su gomma: il caso Palermo
Toni Lupo, Antonino Passannanti, Tommaso Piazza, Simona Sabatini, Gaspare Territo

Costruzione e verifica di scenari di mobilità nel dopo terremoto
Umberto Petruccelli

Integrazione tariffaria a scala regionale nel TPL. Analisi comparata di cinque esperienze europee avanzate
Domenico Gattuso, Giulia Carbone, Giuseppe Musolino

Servizio Speciale
Il programma d'Area del Polo Logistico di Piacenza

PERIODICITÀ BIMESTRALE - SPEDIZIONE IN A.P. 70% MILANO - LEGGE 662/96 - TAXE PERÇUE (TARIFFA RISCOSSA) - CMP ROSERIO

Centro per lo Sviluppo del Polo di Piacenza

TRASPORTI & TERRITORIO
Scienze, Tecnologie, Politiche per la mobilità

SOCI FONDATORI
RFI
ATM AZIENDA TRASPORTI MILANESI S.p.A.
FERROVIE NORD MILANO spa

Direttore responsabile
prof. ing. Enrico Chiesa

Comitato di Redazione
prof. arch. Sandra Bonfiglioli, dr. ing. Roberto Maja, prof. ing. Renato Manigrasso, prof. ing. Francesco Perticaroli, prof. ing. Claudio Podestà, prof. arch. Marco Ponti, prof. ing. Giovanni Da Rios, prof. ing. Dario Zaninelli

Comitato di Consulenza
dr. ing. Mauro Moretti, dr. ing. Maurizio Fantini, dr. ing. Alberto Zorzan

Redazione e Amministrazione
Politecnico di Milano
Centro per lo Sviluppo del Polo di Piacenza
Via Scalabrini, 76 - 29100 Piacenza
Tel. 02 23996819 - Fax 02 23996804
e-mail: rivista.t&t@polimi.it

Edizione
Eupalino Srl
Via Francesco Rezzonico, 2 - 20135 Milano
Amministratore Unico: Giuseppina Redaelli
Direttore editoriale: Francesco Vecchi

Redazione editoriale e Abbonamenti
Eupalino Srl
Chiara Vecchi (responsabile)
Tel. 02 36510045 - Fax 02 36510046
e-mail: eupalino@fastwebnet.it

Ufficio di redazione
Vito Cunzi, Giovanni Orfino, Andrea Olivieri, Emanuele Porzio, Daniele Vitali

Tariffa abbonamenti 2004
€ 35,00 (1 copia € 10,00)
Per studenti
€ 20,00 (1 copia € 5,00)

La pubblicazione o ristampa degli articoli della rivista deve essere autorizzata per iscritto della Direzione

Registrazione del Tribunale di Milano
N. 355 del 23 maggio 1988
Sped. in abb. post. 70%, comma D
Taxe perçue (tariffa riscossa)
CMP Roserio

Finito di stampare nel mese di maggio 2004
da Tecnografica Srl - Lomazzo (CO)

Questa rivista Le è stata inviata tramite abbonamento: l'indirizzo in nostro possesso verrà utilizzato per l'invio di questa e altre riviste o per l'inoltro di proposte di abbonamento. Ai sensi della legge n. 675/96 è nel diritto del ricevente richiedere la cessazione dell'invio e/o l'aggiornamento dei dati in nostro possesso.

SOMMARIO

Anno 17 - Numero 1 - maggio 2004

2 Editoriale

3 Metodologia AHP-fuzzy per l'identificazione delle priorità di intervento sui principali aspetti del servizio di trasporto pubblico su gomma: il caso Palermo
AHP-fuzzy method applied to identify priority actions on main aspects of transportation service – the case of Palermo
Toni Lupo, Antonino Passannanti, Tommaso Piazza, Simona Sabatini, Gaspare Territo
Università degli Studi di Palermo, Facoltà di Ingegneria

17 Costruzione e verifica di scenari di mobilità nel dopo terremoto
Building and controlling mobility scenarios in after-earthquake
Umberto Petruccelli, *Università della Basilicata - DAPIT*

29 Integrazione tariffaria a scala regionale nel TPL. Analisi comparata di cinque esperienze europee avanzate.
Regional fare integration in public transport services. A comparative analysis of five advanced European experiences.
Domenico Gattuso, Giulia Carbone, Giuseppe Musolino
Università Mediterranea di Reggio Calabria - Facoltà di Ingegneria.

37 SERVIZIO SPECIALE
Il programma d'Area del Polo Logistico di Piacenza

46 LIBRI

48 NEWS

In copertina: Il nodo stradale e ferroviario di Piacenza ha una collocazione ideale per lo sviluppo di attività logistiche. Nel Servizio Speciale se ne presentano e analizzano i piani di sviluppo e le relative implicazioni economiche e ambientali.

Costruzione e verifica di scenari di mobilità nel dopo terremoto

Building and controlling mobility scenarios in after-earthquake

Umberto Petruccelli,
Università della Basilicata - DAPIT - Dipartimento di Architettura Pianificazione e Infrastrutture di Trasporto

La metodologia di seguito esposta consente la verifica della funzionalità complessiva della rete stradale urbana a seguito di un sisma distruttivo che può modificare sensibilmente lo scenario della mobilità definito attraverso domanda, offerta di trasporto e territorio insediato. Lo strumento messo a punto può efficacemente supportare la redazione dei piani di protezione civile, consentendo di valutare gli effetti del sisma e delle scelte dell'emergenza sul sistema della mobilità.
Il lavoro attraverso il quale tale metodologia è stata messa a punto ed applicata è parte di una ricerca multidisciplinare svolta nell'ambito della Facoltà di Ingegneria dell'Università della Basilicata con l'obiettivo di verificare la vulnerabilità a sisma complessiva del sistema urbano della città di Potenza.

The methodology herein presented allows control on the overall performance of the urban road network after a destructive earthquake. An earthquake can significantly change the mobility scenario, that is described in terms of transport demand, supply, and territorial settlement. The developed tool may effectively be an aid to the drawing up of civil defence plans, inasmuch as it enables assessment of the effects of seismic activity and emergency responses on the mobility system.
The methodology was set up by a multi-disciplinary study carried out under the aegis of the Engineering Faculty of the University of Basilicata, aiming at verifying the overall vulnerability to earthquake of the urban system of the city of Potenza.
The study involved a wide range of professionals, including geologists, geotechnicians and structural engineers, as well as experts in the transportation sector. The latter dealt specifically with the construction and testing of transportation supply/demand scenarios in the post-earthquake context to which this article refers.

Nello studio della mobilità conseguente ad un sisma è possibile individuare tre periodi temporali rappresentativi di diversi macro scenari di domanda.

Il primo si riferisce ad un intervallo di tempo che inizia qualche minuto dopo la prima scossa e termina alcune ore dopo; in questo periodo la mobilità presenta due componenti di domanda: la prima costituita dai soccorsi e dai servizi finalizzati a scongiurare i pericoli imminenti (crolli, incendi, ecc.); la seconda componente è rappresentata dalla domanda di evacuazione, spesso realizzata, attraverso l'attuazione di uno specifico piano, in due fasi successive: uno spostamento a piedi della popolazione in aree di raccolta nell'ambito del quartiere e quindi l'eventuale trasferimento verso aree attrezzate per il ricovero e la permanenza [9].

Il secondo periodo inizia al termine della prima fase dell'evacuazione (a piedi verso le aree di raccolta di quartiere) e quindi alcune ore dopo il manifestarsi dell'evento sismico e si protrae per alcuni giorni fino al termine delle operazioni di soccorso; la mobilità caratteristica presenta tutte le componenti di primo intervento connesse tra l'altro alla demolizione o al puntellamento di edifici pericolanti e alla rimozione delle macerie anche per il recupero ed il soccorso di superstiti.

Il terzo periodo è riferito alla fine dell'emergenza e alla ripresa delle normali attività in presenza di un territorio che può aver subito sensibili modifiche insediative per effetto della ridistribuzione di un certo numero di residenze e/o di servizi conseguente all'inagibilità di alcuni edifici.

Questi tre macro scenari di domanda si intersecano con due macro scenari di offerta riferibili a due periodi temporali differenti: il primo vede la rete viaria ridotta per effetto dei danni diretti o indiretti prodotti dal sisma sugli elementi che la compongono; il secondo periodo (che ha inizio qualche giorno dopo il sisma) risente dei primi interventi per effetto dei quali la rete stradale può risultare, rispetto al primo periodo post-sisma, potenziata grazie allo sgombero di piccoli cumuli di macerie ovvero ulteriormente degradata a causa dell'ingombro delle opere provvisionali di sostegno degli edifici pericolanti.

Complessa si presenta la definizione puntuale degli scenari di offerta in quanto la funzionalità e quindi la vulnerabilità e l'affidabilità di ciascun elemento della rete stradale

è di per sé una variabile probabilistica conseguenza della combinazione delle probabilità di collasso di tutte le parti strutturali che compongono l'elemento stesso, degli edifici su di esso prospicienti e dei sottoservizi.

L'affidabilità delle reti di trasporto è da tempo oggetto di interesse di molti studiosi.

Ultimamente la ricerca internazionale sta approfondendo il problema dell'affidabilità a seguito di un rischio naturale come il terremoto anche in considerazione del fatto che l'eventuale ridotta funzionalità della rete stradale causata dal sisma comporta non solo difficoltà e rallentamenti nei soccorsi ma anche ingenti perdite per le economie locali conseguenti alla minore accessibilità per persone e merci durante il periodo di ricostruzione, come verificato a seguito del terremoto di Northridge, attraverso un'indagine preso le aziende della regione di Los Angeles USA [2].

In alcuni casi l'affidabilità è stata trattata come un problema di deflusso di rete multi-utilità e multi-modale con finestre temporali, costruendo modelli in grado di verificare la possibilità di garantire in un arco di tempo determinato i soccorsi ed i servizi urgenti nell'immediato dopo terremoto [5].

Più di recente si è cercato di valutare l'affidabilità delle reti di qualsiasi tipo direttamente attraverso metodi analitico-probabilistici risolvendo i problemi connessi alle limitazioni nelle capacità e nei tempi di calcolo come in Li ed He [6]. Altri studiosi hanno proposto metodologie di valutazione basate sulla nozione di vulnerabilità sistemica: è il caso di Menonia [7] che ha messo a punto una metodologia in grado di tener conto anche dell'effetto indiretto, sul sistema in esame, di guasti sofferti da altri sistemi; il risultato finale è un punteggio normalizzato pari alla somma pesata di fattori di vulnerabilità suddivisi in funzionali, organizzativi e fisici.

Un modello probabilistico per la valutazione dell'affidabilità delle linee di comunicazione sotto i carichi da terremoto è stato messo a punto da Selcuk e Yucemen [10]: il rischio sismico a cui la rete è esposta è descritto tramite una distribuzione di probabilità derivata usando i dati di un terremoto passato; l' analisi dei rischi in questo studio è basata sul classico modello sismico di analisi dei rischi con alcune modifiche e con l'utilizzo di un algoritmo efficiente sviluppato da Yoo e da Deo [12] per la valutazione dell' affidabilità della rete. In una successiva formulazione il modello è stato reso applicabile al caso generale di linee di comunicazione con sorgenti multiple [11].

In generale l'affidabilità dei sistemi di trasporto può essere considerata sotto tre aspetti: 1) affidabilità della connettività cioè probabilità di raggiungere la destinazione, 2) affidabilità del tempo di viaggio che significa la probabilità di raggiungere la destinazione scelta in un dato tempo, 3) affidabilità della capacità che significa la probabilità che la rete sia in grado di smaltire una certa quota di domanda in un tempo assegnato [1].

L'affidabilità del sistema di trasporto è il più delle volte vista come probabilità che il sistema realizzi determinate prestazioni; La misura di prestazione può essere basata sulla distanza o sul tempo. Per esprimere la prestazione in termini di distanza Chang e Nojima [4] suggeriscono di utilizzare tre tipi di indicatori: la lunghezza totale della rete percorribile, la distanza totale e la distanza areale; ciascuna grandezza è valutata nella situazione post-sisma e raffrontata alla situazione ante-sisma.

Sicuramente più efficace è la misura dell'accessibilità basata sul tempo in quanto consente di tenere conto della velocità possibile e quindi dell'impegno della capacità del percorso utilizzato. Per questo motivo, nelle sperimentazioni di seguito illustrate, l'indicatore principale del funzionamento della rete è stato individuato nel tempo di percorrenza che, tra l'altro, consente di testare direttamente l'efficacia di ciascun collegamento rispetto all'obiettivo rappresentato, a seconda dello scenario considerato, dall'effettuazione dei soccorsi o dagli spostamenti per le normali attività quotidiane.

In generale nella letteratura si riscontra un notevole sforzo nella definizione di modelli e metodi per stimare l'affidabilità della rete di trasporto o di altri servizi a seguito di un evento disastroso mentre mancano studi finalizzati alla messa a punto di metodologie per la costruzione di scenari di mobilità del dopo terremoto sufficientemente rappresentativi della realtà nonché di sperimentazioni di campo e simulazioni che consentano di testare le metodologie proposte. Tali strumenti sarebbero di grande utilità nella pianificazione dei trasporti in condizioni di emergenza e in particolare nella redazione dei piani di protezione civile.

Finalità del lavoro

La finalità del lavoro consiste nella individuazione e verifica di scenari urbani di domanda – offerta di trasporto conseguenti al terremoto su orizzonti temporali diversi, in modo da testare la funzionalità della rete stradale urbana rispetto alle esigenze connesse con l'evento sismico, con particolare riguardo all'accessibilità alle strutture strategiche ed ai punti critici della città.

Il lavoro ha comportato innanzitutto l'analisi delle diverse componenti di domanda in ciascun macro scenario caratteristico dei tre periodi prima definiti a seguito di un terremoto di riferimento. In particolare nel primo periodo individuato sarebbe opportuno studiare la componente di domanda di evacuazione che è potenzialmente molto intensa e pertanto sensibilmente condizionante la funzionalità del sistema di trasporto. Tuttavia tale componente di domanda è in linea di principio controllabile e modulabile nel tempo se si predispone e si attua all'occorrenza un rigido piano di evacuazione che impedisca alla popolazione qualsiasi spostamento con la propria auto per un certo numero di ore successive al sisma. Sotto questa ipotesi è stato possibile prendere in considerazione soltanto gli scenari che si realizzano durante il secondo ed il terzo periodo dei tre descritti precedentemente escludendo l'analisi di eventuali spostamenti di evacuazione e da panico, comunque già completati entro il primo periodo post sisma. I due macro scenari di domanda - offerta esaminati risultano quindi riferiti il primo ad un periodo orientativamente individuabile a partire da circa 12 ore successive all'evento, e

cioè al termine della fase di panico, ed il secondo a 3-4 settimane dall'evento e quindi successivamente alla fase di prima emergenza.

La definizione degli scenari di offerta rappresentati dall'assetto della rete stradale in momenti diversi successivi al sisma ha richiesto un lungo lavoro da parte degli esperti non trasportisti che, tenendo conto della vulnerabilità a sisma delle opere d'arte stradali e degli edifici prospicienti nonché delle dimensioni di questi ultimi e della distanza dal margine della carreggiata stradale, hanno calcolato la probabilità di collasso di ciascuna opera; intersecando tali valori si è ottenuta la probabilità di chiusura di ogni arco della rete stradale in studio e quindi lo scenario di offerta relativo al periodo di tempo considerato.

Il caso di studio

La metodologia messa a punto è stata testata effettuando delle simulazioni sulla città di Potenza. Come è noto si tratta di un centro di dimensioni medio – piccole (circa 70.000 abitanti) con importanti funzioni amministrative connesse al ruolo di capoluogo regionale. La città è stata teatro di numerosi terremoti, alcuni distruttivi, come quello del 23.11.1980.

Le difficoltà orografiche del sito hanno condizionato anche recentemente lo sviluppo urbano caratterizzato da una elevata densità insediativa anche nelle aree di nuova urbanizzazione e da una viabilità decisamente irregolare con infrastrutture generalmente tortuose e di dimensioni modeste. Quest'ultime tuttavia presentano in misura molto limitata elementi strutturali sensibili a sisma per cui, secondo quanto emerso dalle analisi degli esperti strutturisti, le cause di probabile interruzione a seguito di un sisma sono da individuarsi prevalentemente nei crolli degli edifici prospicienti, generalmente di una certa altezza.

Il patrimonio edilizio è antisismico limitatamente al centro storico che, in quanto fortemente danneggiato nel terremoto dell'80, ha successivamente subito interventi di adeguamento ed alle costruzioni realizzate dopo tale data. Non sono stati oggetto di adeguamenti la quasi totalità degli edifici esterni a questa zona, realizzati fino a tutti gli anni '70, che rappresentano la maggior parte del patrimonio edilizio cittadino e che pertanto presentano un livello di vulnerabilità a sisma dipendente dalle tipologie strutturali.

La mobilità è caratterizzata dalla limitatezza della rete stradale, da un elevatissimo rapporto auto/abitanti e dall'abitudine dei cittadini ad un uso eccessivo dell'auto privata. I tempi di viaggio sono generalmente accettabili per effetto delle modeste distanze da percorrere ma le velocità commerciali nelle ore di punta sono molto basse e si realizzano notevoli accodamenti nelle principali intersezioni.

Metodologia e strumenti di analisi

La metodologia messa a punto è articolabile concettualmente in tre parti:

1. *Studio dello scenario di riferimento* cioè quello a cui sono stati raffrontati i risultati delle analisi condotte e che è stato individuato nell'ora di punta del mattino di un giorno feriale pre-sisma. Tale parte del lavoro, sulla quale non ci si sofferma in quanto di routine negli studi di trasporti, ha comportato la costruzione del grafo della rete stradale urbana pre-sisma e della matrice origine-destinazione O-D nell'ora di punta ottenuta aggiornando, attraverso alcuni conteggi di flusso mirati, la matrice O-D ricavata alcuni anni fa da un'indagine a domicilio condotta nella città dal DAPIT dell'Università della Basilicata [8]; successivamente si è effettuata un'assegnazione onde ottenere i flussi sugli archi ed i tempi di percorrenza fra le diverse O-D.
2. *Costruzione degli scenari di verifica* (nell'ambito dei due macro scenari individuati) che ha comportato l'integrazione dei risultati ottenuti elaborando dati ricavati da documenti ufficiali dell'ISTAT e del Comune di Potenza (zonizzazione, residenti ed addetti e Piano comunale di protezione civile) con i risultati delle elaborazioni di esperti di altri settori scientifici attinenti il danno atteso agli edifici ed agli elementi strutturali della rete stradale nonché il numero previsto di residenti "senza tetto".
3. *Verifica degli scenari costruiti* assegnando la domanda di scenario all'offerta relativa.

Le figure 1 e 2 schematizzano, nella metodologia messa a punto, i dati di input utilizzati per la definizione degli scenari di verifica di breve e di medio periodo, evidenziando tra l'altro l'importante contributo degli esperti di discipline diverse dai trasporti.

Il terremoto di scenario è stato scelto di intensità pari all'8° grado della scala MKS (superiore a quello che colpì la città nel Novembre 1980) a cui corrisponde un periodo di ritorno a Potenza di 475 anni. Non sono stati presi in considerazione sismi di minore intensità in quanto gli esperti hanno motivo di ritenere che molto difficilmente questi potrebbero incidere sulla funzionalità della rete stradale.
La probabilità di chiusura di un arco ($P_{ch\text{-}arc}$) è stata valutata combinando le probabilità di danno di ciascun edificio su di esso prospiciente mediante la seguente espressione:

$$P_{ch-arc} = 1 - \prod_{1}^{Ned} (1 - P[L_d, V, I])$$

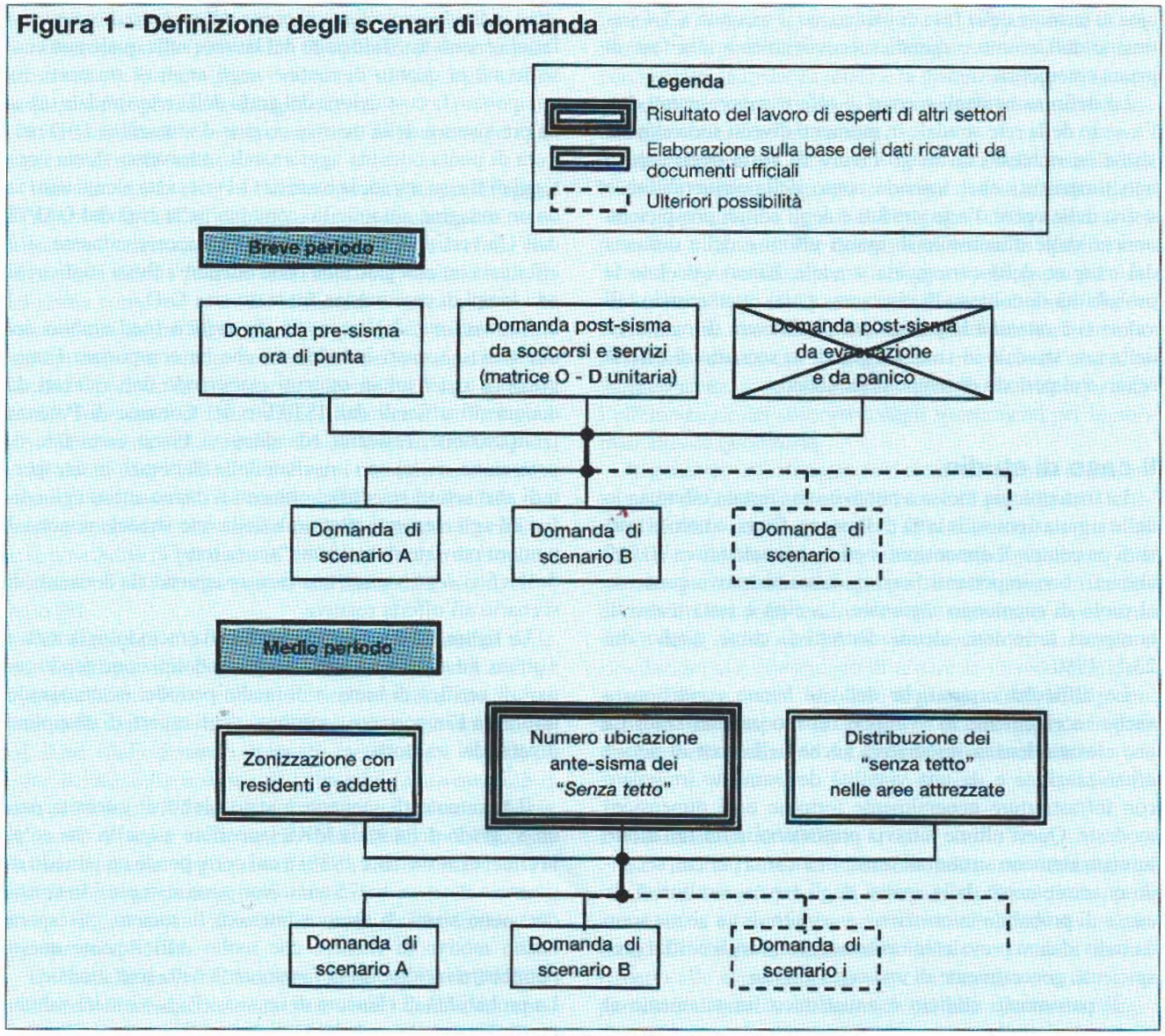
dove $P[L_d, V, I]$ è la probabilità di collasso dei singoli edifici, condizionata al livello di danno L_d, alla classe di vulnerabilità (V) e all'intensità del sisma (I). La produttoria è estesa al un numero di edifici che interessano l'arco in esame.

Infine, nella valutazione delle probabilità di interruzione degli archi della rete stradale, è stata considerata anche la possibilità che ciò avvenga a causa delle opere da ponte presenti lungo il tracciato.

La valutazione del numero di persone coinvolte nell'evento sismico di scenario è stata condotta, dagli esperti del settore, impiegando metodologie presenti in letteratura corrette empiricamente per adeguarle al caso in studio.

Le analisi degli scenari sono state condotte con i programmi VISEM e VISUM che insieme realizzano il software di pianificazione dei trasporti VISION sviluppato

Figura 1 - Definizione degli scenari di domanda



dalla PTV System e distribuito in Italia dalla TPS s.r.l. di Perugia.

VISEM è un programma per la generazione delle matrici di domanda di trasporto che utilizza un modello di domanda aggregato comportamentale basato su catene di attività attraverso il quale è possibile tener conto dell'evoluzione socio-demografica e degli impatti di politiche di mobilità.

La modellizzazione della domanda si articola nelle tre fasi di generazione degli spostamenti, distribuzione e scelta modale. Il modello di destinazione è basato su una funzione LOGIT a massimizzazione dell'entropia; del tipo LOGIT multinomiale è il modello utilizzato per allocare la domanda globale ai diversi modi di trasporto.

VISUM è basato su un modello di assegnazione che integra trasporto privato e pubblico in un unico programma. Nelle verifiche che seguono si è adottata la funzione di costo d'arco dell'Highway Capacity Manual (HCM) ed un tipo di assegnazione all'equilibrio cioè nel rispetto del primo principio di Wardrop.

Verifiche

Sotto l'aspetto operativo è possibile individuare, nel procedimento di verifica, alcune fasi successive e cioè:

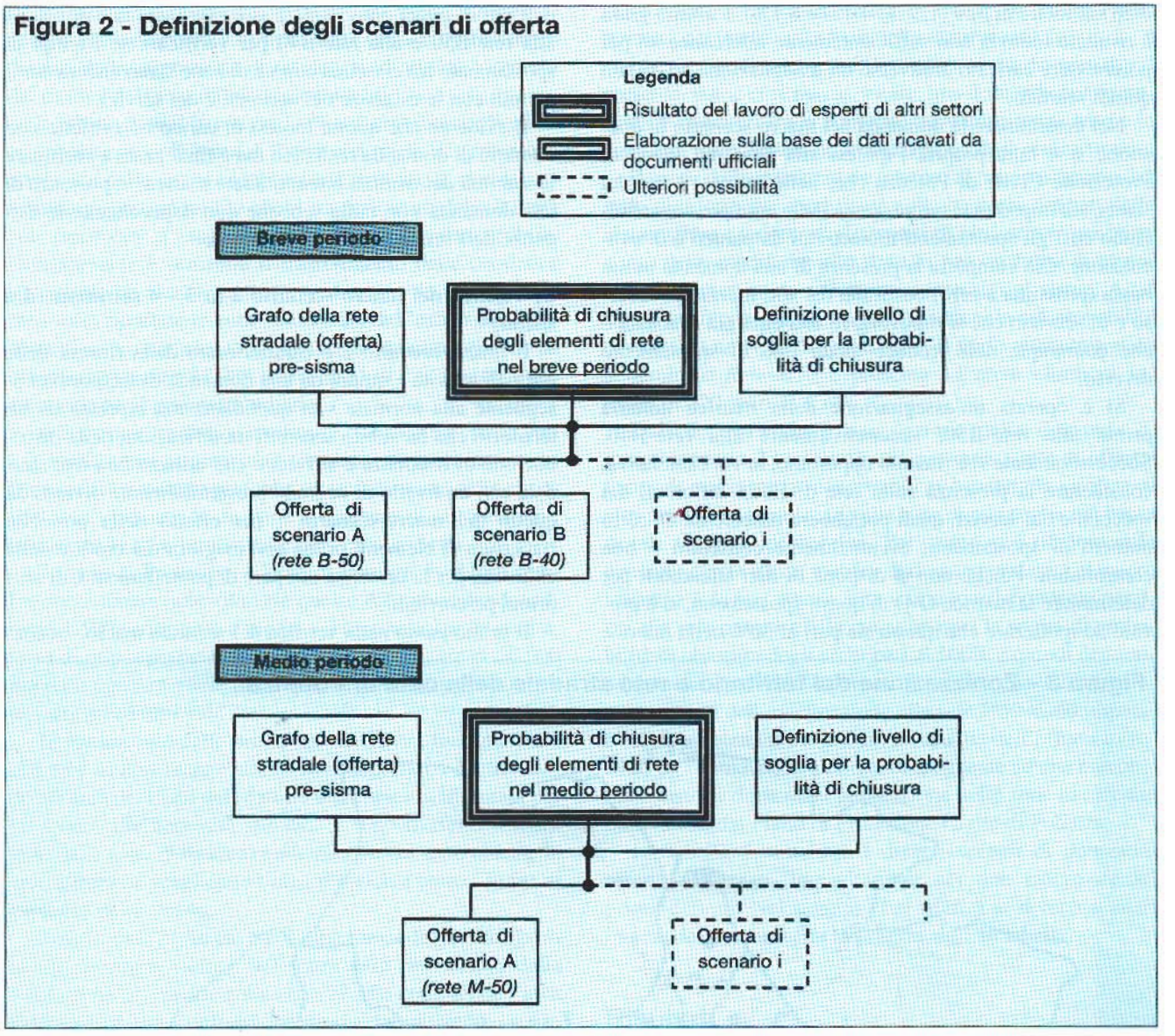
a) Operazioni preliminari
b) Verifica del macro scenario di riferimento (ante sisma)
c) Verifica del macro - scenario n° 1 (a 12 ore dal sisma)
d) Verifica del macro - scenario n° 2 (a 3-4 settimane dal sisma)

a) Operazioni preliminari

La zonizzazione adottata per la città è quella definita nel 1985 dall'IBRES [1] in uno studio sulla mobilità redatto anni or sono per il Comune di Potenza e successivamente utilizzata nelle due stesure del 1992 e del 1998 del Piano del Traffico e dei Trasporti della Città di Potenza.

1 - IBRES - Istituto di Ricerche Economiche e Sociali per la Basilicata, *Indagine sulla mobilità sistematica delle persone nell'area urbana di Potenza*, Potenza, Dicembre 1985 (l'IBRES, istituto pubblico della Regione Basilicata ha cessato di esistere da oltre dieci anni)

Figura 2 - Definizione degli scenari di offerta



Tale zonizzazione (riportata graficamente in figura 3 e analiticamente in tabella 3) è stata tuttavia aggiornata per tener conto dei cambiamenti nel numero complessivo, nella numerazione e nella delimitazione delle sezioni intervenuti in occasione del Censimento 1991.

Il grafo costruito consta di 320 archi, 217 nodi semplici, 29 centroidi urbani.

b) Verifica del macro scenario di riferimento

(ante -sisma)

La matrice dell'ora di punta pre-sisma è stata ottenuta aggiornando una matrice di alcuni anni fa. Successivamente la matrice è stata testata attraverso alcuni rilievi puntuali dei flussi veicolari.

Si è operata un'assegnazione di equilibrio di tale matrice alla rete pre-sisma. Da questa operazione sono emersi i carichi su ciascun arco della rete ed i tempi di percorrenza attuali fra tutte le zone nell'ora di punta. La leggera sovrastima di alcuni di questi valori da parte del modello, dovuta prevalentemente alla eccessiva estensione di alcune zone (non riducibile perché trattasi di zone già corrispondenti ad una sola sezione di Censimento), non inficia tuttavia l'analisi che viene utilizzata solo come riferimento per scenari successivi le cui verifiche presentano le stesse approssimazioni.

c) Verifica del macro scenario n°1 (dopo 12 ore dal sisma)

La verifica viene effettuata assegnando, alla rete urbana con ridotta funzionalità, una matrice origine – destinazione unitaria, al fine di determinare i tempi di percorrenza a rete scarica fra le zone in cui sono presenti strutture di importanza strategica e le zone a maggior rischio di crollo.

Il grafo della rete stradale pre-sisma è stato modificato per tener conto degli elementi di rete non percorribili a seguito del terremoto. Si sono eliminati gli elementi per i quali la probabilità di chiusura ha raggiunto o superato i valori di soglia fissati al 50%, al 40% ed al 30%, ottenendo tre scenari di offerta a 12 ore dal sisma denominati rispettivamente rete-B50 , rete-B40 e rete-B30 e caratterizzati da una riduzione del numero di archi rispettivamente di 5, 14

e 26 sul totale di 320 (1,5 %, 4,4% e 8,1%); l'ultimo grafo è risultato tuttavia non sufficientemente interconnesso per poter essere caricato attraverso un'assegnazione ed è stato quindi scartato.

Nel determinare la domanda nel macro scenario in questione si è fatta propria l'ipotesi alla base del Piano di Protezione Civile di Potenza che, nelle prime 12 ore dal sisma, sia impedita la circolazione delle auto private annullando così gli spostamenti motorizzati da panico e di evacuazione. Ciò comporta la presenza di una domanda molto bassa (prossima a zero) costituita dai soli mezzi di soccorso e di servizio che si muovono in una città già evacuata o che comunque non produce alcun tipo di spostamento diverso.

Si è operata un'assegnazione della matrice unitaria prima alla rete-B50, successivamente alla rete-B40. Successivamente si è ritenuto opportuno, in via cautelativa, considerare la presenza sulla rete di flussi differenti dai soccorsi e dai servizi, quali potrebbero nascere da un certo numero di spostamenti, eventualmente consentiti o non controllabili. Poiché non si dispone di dati attendibili per determinare la matrice O-D di questi spostamenti, si è provato ad ipotizzare che questa sia pari al 30% della matrice dell'ora di punta ante sisma e si è assegnata tale domanda alla rete-B50 e alla rete-B40 per verificare se i tempi di spostamento fra ciascuna coppia di zone siano ancora compatibili con le esigenze dei soccorsi e dei servizi.

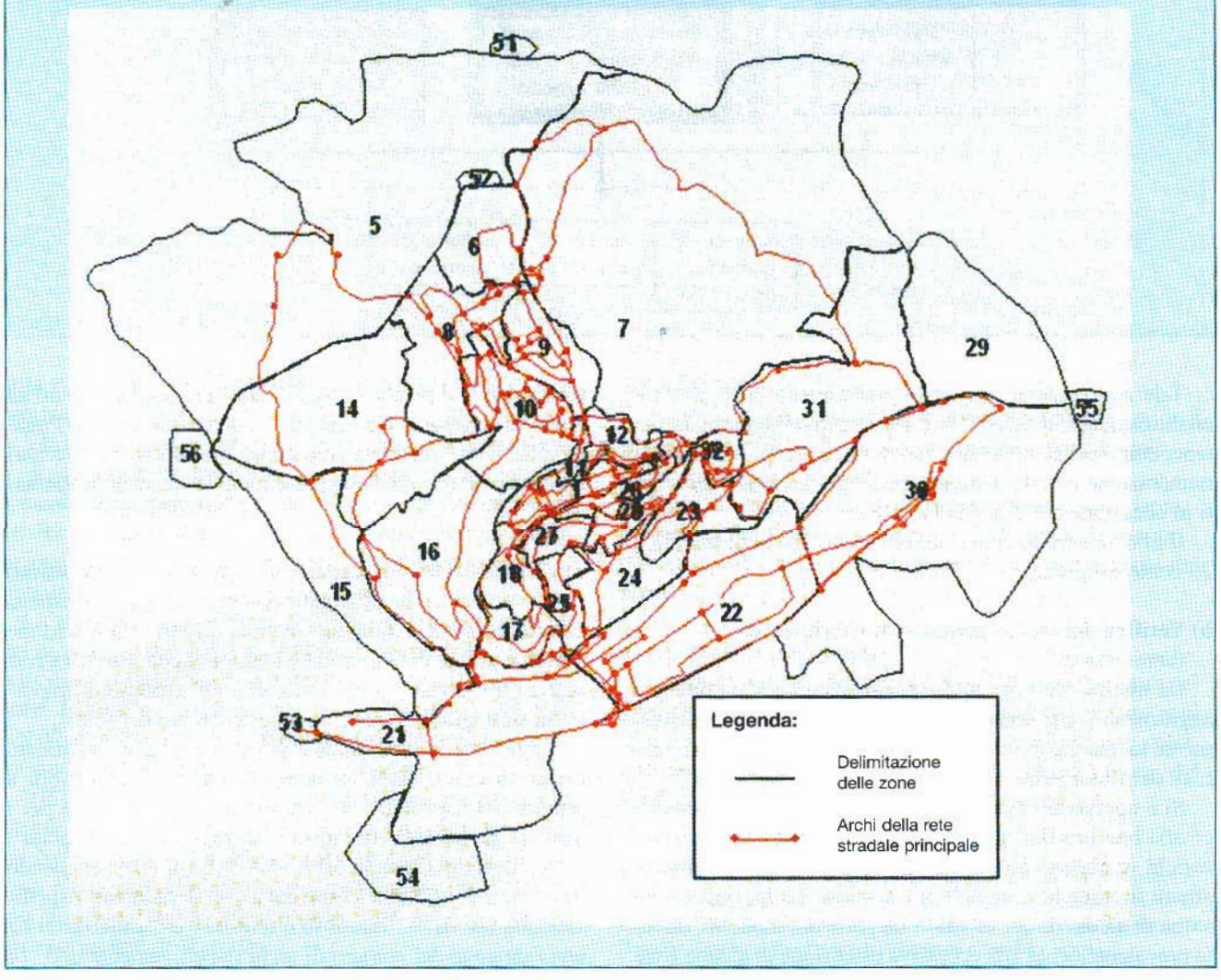
È evidente che questa ipotesi di carico non riflette uno scenario di domanda realistico ma è finalizzata a verificare la stabilità dei risultati ottenuti a rete scarica, in presenza di una domanda non nulla sebbene non rispecchiante le esigenze dell'immediato dopo terremoto.

d) Verifica del macro scenario 2 (a 3 - 4 settimane dal sisma)

Il macro-scenario 2 è caratterizzato dalla ripresa delle normali attività e quindi da una domanda di trasporto conseguente alla normale vita quotidiana ma espressa da un territorio che ha subito sensibili modificazioni nella distribuzione di residenze e attività e che utilizza una rete stradale con un livello di degrado presumibilmente diverso da quello del macro-scenario 1 per effetto della possibile riapertura di elementi prima resi inagibili dai crolli e della chiusura, per la presenza di opere di puntellamento, di altri prima percorribili.

Il primo passo nella verifica del secondo macro - scena-

Figura 3 - Zonizzazione del territorio e rete stradale della città di Potenza



rio consiste nella individuazione del numero di residenti ed addetti che competono ad ogni zona della città in conseguenza della migrazione di residenze ed attività a seguito dei crolli e dell'inagibilità di alcuni edifici.

In effetti, dato il basso grado di vulnerabilità degli edifici pubblici emerso sia dal Piano comunale di protezione civile, sia dalle analisi degli esperti strutturisti, si è potuto assumere con tranquillità che il trasferimento delle attività sul territorio a seguito del sisma sia trascurabile. Diversamente è sensibile il trasferimento delle residenze soprattutto da alcune zone come dimostra la tabella 3. In essa sono riportate le zone interessate dall'esodo di alcuni abitanti e la consistenza di questa migrazione che conta complessivamente 17.984 senza tetto di cui 14.169 dalle zone interne al perimetro urbano.

Si è ritenuto realistico ipotizzare che solo una parte pari a 2/3 dell'intera popolazione comunale di senza tetto usufruisca delle strutture prefabbricate predisposte nelle apposite aree, disponendo la parte rimanente di seconde case ubicate nelle aree rurali anche dei comuni vicini.

Il Piano di Protezione Civile di Potenza in vigore sembra sottostimare notevolmente questo dato prevedendo soltanto 1.500 senza tetto a medio – lungo termine da ospitare su di una superficie complessiva da attrezzare di 50.000 mq (con una superficie pro-capite di 33 mq), suddivisa fra le varie aree (vedi Tab. 1).

Tenendo conto delle previsioni del Piano, limitatamente alle aree da attrezzare e alle relative superfici, ed attribuendo all'area dei Piani del Mattino una capienza illimitata per far fronte alle necessità stimate, si sono trasferiti i senza tetto dalle zone di residenza alle zone in cui sono ubicate le aree attrezzate scegliendo l'area più vicina entro i limiti di capienza della stessa.

Così la zona 21, in cui è presente l'area dell'ex Poligono di tiro, accoglie i circa 380 senza tetto provenienti dalla stessa zona 21, mentre nella zona 22, che comprende l'area della ex Cip Zoo, confluiscono, fino a riempimento, i senza tetto provenienti dalle vicine zone 30, 17, 25 e 24, oltre che dalla stessa 22. Tutti gli altri, circa 11.200, vengono trasferiti nella zona 51 (Piani del Mattino) impegnando qui una superficie di 369.600 mq.

Questa ipotesi comporta di fatti la creazione di una sorta di grande satellite urbano con tutte le conseguenze anche in termini di infrastrutture e servizi da predisporre.

La matrice di interscambio relativa al macro scenario 2 è stata calcolata avvalendosi di modelli generazione-attrazione e distribuzione degli spostamenti implementati nel software VISEM. Prima di utilizzare questi modelli per la generazione della matrice desiderata si è provveduto a calibrarne i parametri sulla base della matrice attuale.

La matrice di interscambio relativa al macro-scenario 2 presenta, come ci si può aspettare, una domanda consistente sulle relazioni fra le zone che ospitano i senza tetto e le zone con forte destinazione terziaria quali il centro storico.

Il grafo della rete stradale relativo al macro-scenario 1 è stato ulteriormente modificato sulla base dei risultati delle elaborazioni prodotte dagli esperti di altri settori per tener conto delle modifiche allo stato di percorribilità di alcuni elementi intervenuto nei giorni successivi al sisma. A tal fine si sono considerati inagibili gli archi la cui probabilità di chiusura non è inferiore al 50%. Il grafo ottenuto è stato denominato *Rete-M50* e presenta 13 archi eliminati sul totale di 320 (pari al 4%).

Dal momento che l'assegnazione della domanda di macro scenario 2 ha fornito, già per questa rete di offerta, tempi di percorrenza inaccettabili si è evitata la verifica di altri grafi di rete realizzati sulla base di una soglia più bassa di tale valore di probabilità. Per contro si è ritenuto utile caricare, con la stessa matrice di domanda relativa al macro scenario 2, la rete attuale ante-sisma (corrispondente peraltro alla rete post sisma in cui si assuma la soglia di probabilità di chiusura degli archi pari al 100% e quindi denominata anche *Rete-M100*) per verificare se i risultati sfavorevoli ottenuti dall'assegnazione alla *rete M50* siano imputabili prevalentemente alla ridotta capacità dell'offerta ovvero ad una domanda squilibrata conseguente ad una non ottimale distribuzione della popolazione nelle zone di raccolta individuate dal Piano di Protezione Civile di Potenza.

La tabella 2 sintetizza i diversi scenari di domanda-offerta analizzati, inquadrandoli nei due macro-scenari prima definiti. Nel seguito ci si riferirà ai diversi scenari indicando ciascuno con la propria sigla in tabella.

Risultati

L'analisi degli scenari costruiti ha consentito di evidenziare una risposta complessivamente buona degli elementi della rete stradale urbana. Infatti gli elementi che si rendono inagibili in seguito al terremoto previsto con periodo di ritorno di 475 anni sono in numero molto limitato in dipendenza del macro-scenario considerato e del valore di soglia assunto per la probabilità di chiusura.

Nel macro scenario 1, il tentativo di assumere un valore di soglia della probabilità di chiusura pari al 30% ha condotto alla eliminazione di un numero di archi che, sebbene percentualmente non elevato (26 su 320), ha fatto risultare

Tabella 1 - Area da attrezzare per i senza tetto
(fonte: Piano comunale di protezione civile di Potenza)

Area	Superficie (mq)	Capienza (abitanti)	Zona
Ex poligono di tiro – v.le del Basento (Sud)	12.500	375	21
Ex CIP Zoo – via della Fisica (Sud)	85.000	2550	22
Piani del mattino (Nord – Est)	Non indicata	----	51 (esterna)

la rete non sufficientemente connessa e quindi non caricabile. Questo risultato, benché indicativo di una situazione catastrofica in cui a seguito del sisma non è possibile neanche prestare i soccorsi per l'impossibilità di raggiungere in alcun modo alcune zone disastrate, non dovrebbe tuttavia allarmare in quanto rispecchia uno scenario che ha basse probabilità di verificarsi anche in presenza di un sisma di intensità distruttiva.

Supporta questa affermazione il risultato dell'assegnazione effettuata alla rete-B40 (ottenuta con l'eliminazione degli archi che presentano una probabilità di chiusura ≥40%) implementata negli scenari 1.B e 1.D. Il numero di archi che qui vengono meno sale, dai 5 della rete-B50, a 14, ma la possibilità di connessione fra ciascuna zona della città e tutte le altre rimane garantita.

L'assegnazione della matrice unitaria, rappresentativa di una domanda di trasporto costituita soltanto da soccorsi e servizi, conferma la buona funzionalità del sistema stradale sotto questo carico dimostrata da tempi di percorrenza, fra tutte le zone danneggiate e quelle con servizi strategici, molto contenuti e comunque di gran lunga inferiori a quelli che si realizzano nello scenario di riferimento (ante sisma).

Gli scenari 1.C e 1.D (con domanda pari al 30% della domanda dell'ora di punta di un generico giorno ante - sisma) sono stati disegnati per simulare la presenza di un carico sulla rete, a 12 ore dal sisma, contemporaneo ai soccorsi e verificare l'eventuale rallentamento imposto a questi ultimi. I risultati hanno evidenziato una sostanziale invarianza, rispetto agli scenari 1.A e 1.B (a matrice di carico unitaria), dei tempi di viaggio che si mantengono ancora di gran lunga inferiori ai tempi registrati nell'ora di punta ante sisma.

È necessario tuttavia chiarire i limiti di rappresentatività

Tabella 2 - Scenari di verifica

Scenario	Domanda	Offerta	Situazione rappresentata
0	Pre-sisma: matrice attuale dell'ora di punta 8,00-9,00	Rete attuale pre - sisma	Scenario di riferimento
Macro scenario 1 (scenari a 12 ore dal sisma)			
1.A	A 12 ore dal sisma: matrice unitaria (solo soccorsi e servizi)	*Rete-B50* (a 12 ore dal sisma, ridotta degli archi con prob. di chiusura ≥ 50%)	Evacuazione completata o vietata e soccorsi e servizi che si muovono sulla parte della rete ancora percorribile
1.B	Idem come 1.A	*Rete-B40* (a 12 ore dal sisma, ridotta degli archi con prob. di chiusura ≥ 40%)	Come 1.A ma con rete ulteriormente ridotta (soglia di probabilità di chiusura minore)
1.C	A 12 ore dal sisma: matrice pari al 30% matrice ora di punta di cui allo scenario 0 (domanda da spostamenti non controllabili)	*Rete-B50* (a 12 ore dal sisma, ridotta degli archi con prob. di chiusura ≥ 50%)	Presenza sulla rete di una domanda non nulla, non rappresentativa dei reali spostamenti eventualmente consentiti
1.D	Idem come 1.C	*Rete-B40* (a 12 ore dal sisma, ridotta degli archi con prob. di chiusura ≥ 40%)	Come 1.C ma con rete ulteriormente ridotta (soglia di probabilità di chiusura minore)
Macro scenario 2 (scenari a 3-4 settimane dal sisma)			
2.A	Ad 7-15 gg dal sisma: matrice dell'ora di punta 8,00-9,00 conseguente alle normali attività e alla ubicazione provvisoria degli occupanti gli edifici inagibili o crollati nelle aree di raccolta indicate dal Piano di Protezione Civile in vigore	*Rete-M50* (a 3-4 settimane dal sisma, ridotta degli archi con probabilità di chiusura ≥ 50%)	Ora di punta di un giorno feriale con le normali attività in svolgimento, e assetto del territorio e della rete stradale modificati dal sisma
2.B	Idem come 2.A	*Rete-M100* (identica alla rete attuale pre – sisma)	Come 2.A ma su una rete integra (attuale – pre-sisma). Non rappresenta una situazione reale ma evidenzia l'incidenza soltanto della nuova domanda sui tempi di percorrenza

degli scenari 1.C e 1.D. Evidentemente la domanda ipotizzata pari al 30% della domanda ordinaria dell'ora di punta non riflette una condizione di funzionamento reale della rete successivamente al terremoto. Tuttavia la verifica degli scenari 1.C e 1.D è finalizzata ad assicurare che i tempi dei collegamenti fra le zone più importanti rimangano accettabili anche in presenza di una domanda sensibile e comunque ben maggiore del carico pressoché nullo ipotizzato negli scenari 1.A e 1.B.

Decisamente meno incoraggianti sono i risultati emersi della verifica dei due scenari di medio termine (3 – 4 settimane). In particolare nello scenario 2.A (chiusura degli archi per probabilità di collasso degli edifici maggiore del 50%) l'eliminazione di 13 archi (rete-M50) e la presenza di un'area residenziale satellite di oltre 11.000 abitanti ubicata ai Piani del Mattino (zona 51) dà luogo a tempi di percorrenza fra le zone principali, escludendo la stessa 51, che sono in media il doppio di quelli già elevati dell'ora di punta di una giornata pre-sisma; sulle relazioni che hanno come estremo la zona 51 i tempi subiscono incrementi medi del 2.000 % denotando una situazione insostenibile.

Lo scenario 2.B è decisamente più favorevole (verifica della rete attuale ante sisma in presenza della domanda post sisma di medio termine). Quest'ultimo, come già accennato precedentemente, non è rappresentativo di una situazione reale ma consente di mettere in luce separatamente il peso, sullo scenario 2. A prima analizzato, dei danni subiti dalla rete e quello della forte concentrazione delle residenze nelle aree attrezzate ed in particolare in quella dei Piani del Mattino che produce flussi di domanda molto intensi con estremi in questa zona. I tempi di percorrenza nello scenario 2.B risultano infatti ridotti, rispetto allo scenario 0 (di riferimento-ora di punta ante sisma) mediamente del 10% su tutte le relazioni che non interessano la zona 51, proprio per effetto della minore domanda di cui sono investiti tali itinerari. Per contro i collegamenti con la zona 51 fanno registrare un aumento medio dei tempi di percorrenza del 1.950% rispetto a quelli dello scenario di riferimento evidenziando ancora una volta l'insostenibilità di concentrazioni elevate di popolazione in aree prossime alla

Tabella 3 - Residenti e senza tetto per zone

Zone	Sezioni censuarie	Denominazione senza tetto	Area per Istat '91	Residenti	Senza tetto
01	1+2+6+7	Centro storico		1525	619
05	143+144	C.da Botte - Malvaccaro		2497	449
06	94+95+96+97+98+99+100+101	Parco Aurora		2150	453
07	102+104+146	Macchia Romana		1073	288
08	72+73+74+75+89+90+91+92+93	R.ne CEP		3629	855
09	83+84+85+86+87+88	R.ne S. Maria		1498	612
10	63+64+65+76+77+78+79+80	R.ni Risorgim.- Mancusi		5246	1358
11	8+9+16+17+18	Via Mazzini		2839	439
12	10+11+12+13	Via Cavour		1659	370
14	61+62+69+70+71+81+82	R.ne P. Tre Galli		4714	1103
15	66+67	Zona Gallitello		335	87
16	51+52+53+58+59+60	R.ne Cocuzzo – Via Tirreno		4289	1040
17	54+55+56	R.ne Murate		1390	329
18	4+5+19+20+21	P.co Montereale		1586	303
21	48+49+50+68	C.da Rossellino	Ex poligono	1138	387
22	46+47	Zona Industriale	Ex Cip Zoo	288	69
23	106+107+108+109+110+111+112	R.ne Lucania		3336	752
24	29+30+40+41+42+45	R.ne Francioso		1988	478
25	26+27+31+32+33+34+57	V.le Marconi		2990	575
26	3+22+23+24	C.so Garibaldi – P. V. Emanuele		1355	483
27	25+28+35+36	V.le Dante – R.ne Libertà		1490	605
28	37+38+39+43+44	R.ne S. Croce		2025	535
29	115	C.da Costa della Gaveta		490	194
30	114+116+117+118	C.da Bucaletto		2940	1085
31	103+113	C.da S. Antonio La Macchia		1293	432
32	14+15+16+105	R.ne S. Rocco – Via Bertazzoni		1781	269
Totale				55544	14169

città, sebbene compatibili con la disponibilità di aree e con vincoli di tipo diverso.

Per rendere più facilmente leggibili i risultati si sono individuate alcune relazioni obiettivo, cioè un certo numero di collegamenti rappresentativi della situazione generale, perché di maggiore importanza, suddivisi in due categorie di pari valenza:

- *categoria A* che comprende le connessioni delle zone di ubicazione dei principali edifici scolastici con le zone ove sono presenti l'Ospedale regionale, la caserma dei Vigili del Fuoco ed il comando dei Carabinieri e risponde alla logica di testare l'accessibilità dei soccorsi agli edifici dove è presente un'alta concentrazione di persone.
- *categoria B* che comprende le connessioni di tutte le zone di cui al punto precedente dall'esterno della città e cioè dalle zone in cui sono presenti gli ingressi urbani individuati in via Cicciotti (Epitaffio) a Nord, Gallitello e il Viadotto dell'Industria ad Ovest e via Appia (Betlemme) ad Est; oltre alla evidente finalità di verificare la raggiungibilità degli edifici strategici dall'esterno della città, la scelta di tali relazioni obiettivo risulta particolarmente importante in quanto consente di valutare l'accessibilità alle scuole

Tabella 4 - Relazioni obiettivo, zone e servizi

Relazioni obiettivo A (andata e ritorno)

Relazione	Servizio	Quartiere / area / via	Zona	Servizio	Quartiere / area / via	Zona
1	Ist. Tecnico Commerc.	Centro storico	1	Ospedale	C.da Macchia Rom.	7
2	Ist. Tecnico Commerc.	Centro storico	1	VV.FF. e Carabinieri	Rione Betlemme	31
3	Ist. Tecnico Commerc.	Via Ciccott	6	Ospedale	C.da Macchia Rom.	7
4	Ist. Tecnico Commerc.	Via Ciccotti	6	VV.FF. e Carabinieri	Rione Betlemme	31
5	Ospedale	C.da Macchia Rom.	7	Istituti scolastici vari	Via Anzio	8
6	Ospedale	C.da Macchia Rom.	7	Ist. T.Ind. e Ist. T.Geom.	Rione S. Maria	9
7	Ospedale	C.da Macchia Rom.	7	Ist Magistrale	Rione Mancusi	10
8	Ospedale	C.da Macchia Rom.	7	Liceo Classico	Via Vaccaro	18
9	Ospedale	C.da Macchia Rom.	7	Ist. Prof. Agricoltura	Rione S. Croce	29
10	Istituti scolastici vari	Via Anzio	8	VV.FF. e Carabinieri	Rione Betlemme	31
11	Ist. T.Ind. e Ist. T.Geom.	Rione S. Maria	9	VV.FF. e Carabinieri	Rione Betlemme	31
12	Ist. Magistrale	Rione Mancusi	10	VV.FF. e Carabinieri	Rione Betlemme	31
13	Liceo Classico	Via Vaccaro	18	VV.FF. e Carabinieri	Rione Betlemme	31
14	Ist. Prof. Agricoltura	Rione S. Croce	29	VV.FF. e Carabinieri	Rione Betlemme	31

Relazioni obiettivo B (andata e ritorno)

Relazione	Servizio	Quatiere / area / via	Zona	Servizio	Quartiere / area / via	Zona
101	Ist. Tecnico Commerc.	Centro storico	1	Ingresso NORD	Via Ciccotti	52
102	Ist. Tecnico Commerc.	Centro storico	1	Ingresso OVEST	Area Gallitello	53
103	Ist. Tecnico Commerc.	Centro storico	1	Ingresso EST	Via Appia	55
104	Ist. Tecnico Commerc.	Via Ciccotti	6	Ingresso NORD	Via Ciccotti	52
105	Ist. Tecnico Commerc.	Via Ciccotti	6	Ingresso OVEST	Area Gallitello	53
106	Ist. Tecnico Commerc.	Via Ciccotti	6	Ingresso EST	Via Appia	55
107	Ospedale	C.da Macchia Rom.	7	Ingresso NORD	Via Ciccotti	52
108	Ospedale	C.da Macchia Rom.	7	Ingresso OVEST	Area Gallitello	53
109	Ospedale	C.da Macchia Rom.	7	Ingresso EST	Via Appia	55
110	Istituti scolastici vari	Via Anzio	8	Ingresso NORD	Via Ciccotti	52
111	Istituti scolastici vari	Via Anzio	8	Ingresso OVEST	Area Gallitello	53
112	Istituti scolastici vari	Via Anzio	8	Ingresso EST	Via Appia	55
113	Ist. T.Ind. e Ist. T.Geom.	Rione S. Maria	9	Ingresso NORD	Via Ciccotti	52
114	Ist. T.Ind. e Ist. T.Geom.	Rione S. Maria	9	Ingresso OVEST	Area Gallitello	53
115	Ist. T.Ind. e Ist. T.Geom.	Rione S. Maria	9	Ingresso EST	Via Appia	55
116	Ist. Magistrale	Rione Mancusi	10	Ingresso NORD	Via Ciccotti	52
117	Ist. Magistrale	Rione Mancusi	10	Ingresso OVEST	Area Gallitello	53
118	Ist. Magistrale	Rione Mancusi	10	Ingresso EST	Via Appia	55
119	Liceo Classico	Via Vaccaro	18	Ingresso NORD	Via Ciccotti	52
120	Liceo Classico	Via Vaccaro	18	Ingresso OVEST	Area Gallitello	53
121	Liceo Classico	Via Vaccaro	18	Ingresso EST	Via Appia	55
122	Ist. Prof. Agricoltura	Rione S. Croce	29	Ingresso NORD	Via Ciccotti	52
123	Ist. Prof. Agricoltura	Rione S. Croce	29	Ingresso OVEST	Area Gallitello	53
124	Ist. Prof. Agricoltura	Rione S. Croce	29	Ingresso EST	Via Appia	55
125	VV.FF. e Carabinieri	Rione Betlemme	31	Ingresso NORD	Via Ciccotti	52
126	VV.FF. e Carabinieri	Rione Betlemme	31	Ingresso OVEST	Area Gallitello	53
127	VV.FF. e Carabinieri	Rione Betlemme	31	Ingresso EST	Via Appia	55

da parte dei numerosissimi studenti non potentini negli scenari 2.A e 2.B.

La tabella 4 riporta la corrispondenza fra gli edifici anzidetti e le zone in cui essi ricadono; le tabelle ed i grafici successivi sintetizzano, per tutte le relazioni obiettivo, il tempo di percorrenza in ciascuno scenario ed il raffronto con la situazione ante-sisma (scenario 0).

La stima delle velocità medie di percorrenza sugli archi consente di individuare infine i punti critici della rete. In proposito si sono assunti come soglia i valori di 10 e 5 km/h che costituiscono gli estremi superiori di intervalli di velocità rappresentativi di una situazione rispettivamente di deflusso molto difficile e di pressoché completa saturazione.

È evidente che, trattando nella fattispecie una rete stradale urbana, le velocità sugli archi sono conseguenza prevalentemente dei ritardi di attraversamento delle intersezioni a valle causati da insufficiente capacità dell'accesso all'intersezione o di quest'ultima nel suo complesso [3].

Le tabelle 6 - 11 riportano, per ciascuno degli scenari studiati, gli archi critici (con numerazione e toponomastica) cioè gli archi su cui si registrano velocità medie comprese fra 0 e 9 km/h.

È da notare infine che le velocità molto basse riscontrate su alcuni archi, in particolare negli scenari 1 (A, B, C, D), sono per buona parte imputabili alle caratteristiche fisiche dell'arco che non consente in ogni caso velocità accettabili anche in presenza di flussi veicolari prossimi a zero.

Conclusioni

Sulla base dei risultati ottenuti è possibile fare alcune considerazioni di validità generale attinenti le problematiche della mobilità nell'ambito della redazione dei piani di protezione civile.

Per prima cosa risulta evidente che l'individuazione di aree da attrezzare con abitazioni per la permanenza di senza tetto a medio o lungo termine non possa prescindere dall'analisi della domanda di mobilità conseguente e dalla verifica della possibilità del sistema di offerta di farvi fronte con costi e tempi accettabili. Ciò è ancora più vero quando si prevede di attrezzare un numero molto ridotto di queste aree aventi estensione e capienza considerevoli.

È altresì possibile prevedere un potenziamento del sistema di offerta lungo le direttrici che lo richiedano, ma è opportuno valutare la convenienza economica di tali investimenti rispetto a situazioni insediative più diffuse che possono richiederne di minori o non richiederne affatto. In ogni caso il potenziamento dell'offerta soprattutto se di tipo infrastrutturale va realizzato evidentemente prima del sisma. Bisogna comunque tener pronto un piano di offerta riguardante anche il trasporto pubblico che il più delle volte stenta ad adattarsi a sviluppi improvvisi della domanda che ne stravolgono la distribuzione.

Le esigenze in termini di abitazioni provvisorie di breve o medio termine devono essere valutate con una buona approssimazione dal momento che è fondamentale stabilire il numero e la superficie delle aree da attrezzare a tal

Figura 4: Tempi di percorrenza sulle relazioni obiettivo A negli scenari 1.A, 1.B, 1.C, 1.D

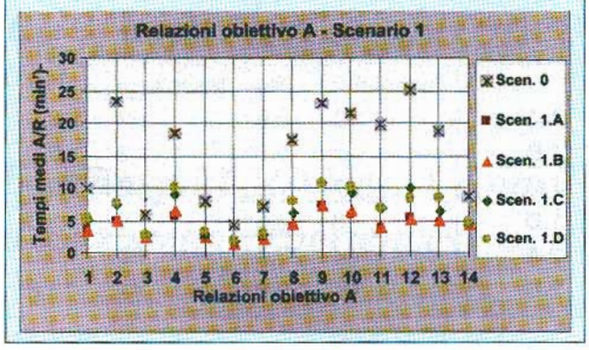


Figura 5 - Tempi di percorrenza sulle relazioni obiettivo A negli scenari 2.A e 2.B

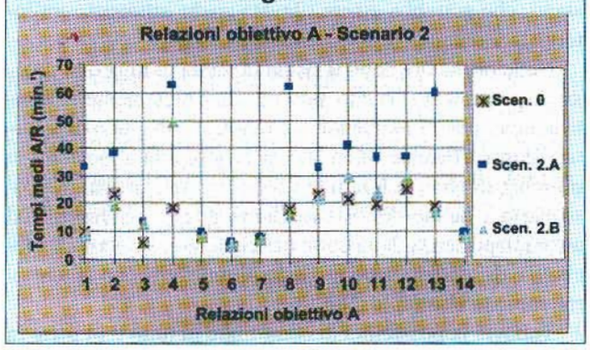


Figura 6: - Tempi di percorrenza sulle relazioni obiettivo B negli scenari 1.A, 1.B, 1.C, e 1.D

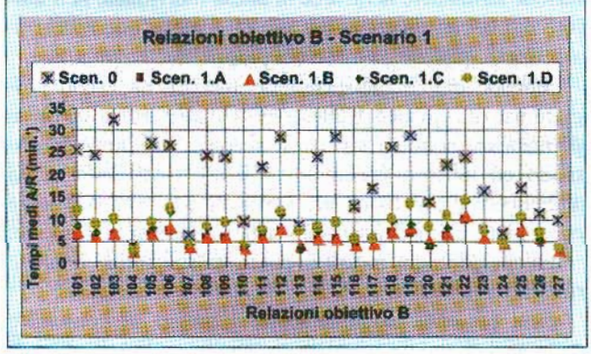


Figura 7: Tempi di percorrenza sulle relazioni obiettivo B negli scenari 2.A e 2.B

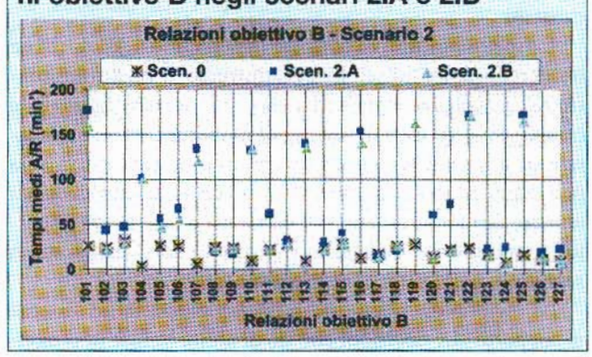


Tabella 5 - Numero di archi con velocità media minore o uguale al valore di soglia

Scenario	V <= 10 km/h		V <= 5 km/h	
	(assoluto)	(%)	(assoluto)	(%)
1.A	2	0,6	2	0,6
1.B	2	0,6	2	0,6
1.C	7	2,2	3	0,9
1.D	8	2,5	5	1,6
2.A	64	20,0	63	20,0
2.B	64	20,0	44	13,8

fine. Perciò è indispensabile conoscere l'eventuale disponibilità, da parte di ciascuna famiglia, della seconda casa nelle aree rurali del comune interessato e di quelli circostanti, che potrebbe essere rilevata anche attraverso un'intervista diretta.

Nelle prime ore dopo il sisma la scelta di impedire qualsiasi spostamento privato motorizzato è certamente vincente almeno fino al momento in cui non si è in grado di simulare con sufficiente attendibilità la mobilità spontanea in presenza di panico. Infatti le verifiche effettuate sul macroscenario 1 hanno dimostrato che in queste condizioni, ed anche in presenza di un certo carico di rete, i veicoli di soccorso e di servizio sono in grado di muoversi con la massima rapidità in tutta la città.

Tuttavia la possibilità di controllare in tutto o in parte la mobilità spontanea lascia molto perplessi per le evidenti difficoltà operative e per la scarsa propensione della popolazione a rimanere nelle aree di attesa individuate nell'ambito di ciascun quartiere per più di qualche ora, specie in assenza di qualche membro del proprio nucleo familiare.

Sarebbe quindi indispensabile studiare un esodo programmato da tali aree di attesa verso le aree attrezzate per la permanenza notturna e verso le seconde case impegnando mezzi ed itinerari prestabiliti. Gli effetti di detto esodo andrebbero preventivamente verificati con le metodologie consolidate e non di analisi e verifica delle reti di trasporto.

La metodologia messa a punto merita infine qualche riflessione.

Essa presenta indubbiamente il pregio di consentire delle analisi ancora intentate in letteratura avvalendosi di tecniche e modelli di previsione della domanda di tipo tradizionale quindi già implementati nei pacchetti software esistenti.

L'aspetto innovativo consiste innanzitutto nell'utilizzare un percorso multidisciplicare attraverso il quale far confluire competenze ingegneristiche diverse nella definizione e successiva verifica di scenari di mobilità post-sisma relativi ad orizzonti temporali diversi. Inoltre innovativa è la procedura proposta attraverso la quale si costruiscono un numero limitato di scenari di domanda e offerta di trasporto rappresentativi di tutte le situazioni che si realizzano a seguito di un terremoto di progetto.

La metodologia può essere implementata in un sistema di supporto alle decisioni che sia di aiuto, in fase di progettazione dei piani di protezione civile, a definire l'assetto del territorio nei periodi dell'emergenza e della ricostruzione, tenendo conto delle imprescindibili esigenze di mobilità che si manifestano immediatamente dopo il terremoto a distanza di qualche settimana o qualche mese. La metodologia si presta anche ad essere applicata in situazioni di emergenza diverse dal terremoto, in particolare per quanto attiene gli scenari di medio lungo termine che non sono influenzati dal tipo di emergenza.

Bibliografia

[1] Berdica, K. (2002) "An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done", *Transport Policy*, **9**(2), pp. 117-127

[2] Boarnet, M. G. (1998) "Business Losses, Transportation Damage, and the Northridge Earthquake", *Journal of Transportation and Statistics*, **1**(2), pp. 49-63

[3] Cappelli, A., Luongo, A.S., Mallano, D., Petruccelli, U. (2000) *Strumenti e metodologie per la gestione del sistema stradale urbano*, Editore Franco Angeli, Milano

[4] Chang, S. E., Nojima, N. (2001) "Measuring post-disaster transportation system performance: the 1995 Kobe earthquake in comparative perspective", *Transportation Research - A*, **35**(6) pp. 475-494

[5] Haghani, A., Sei-Chang, O. (1996) "Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flows model for disaster relief operations", *Transportation Research – A*, **30**, (3), pp. 231-250

[6] Li, J., He, J. (2002) "A recursive decomposition algorithm for network seismic reliability evaluation", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **31**, pp. 1525–1539

[7] Menonia, S., Pergalanib, F., Bonib, M.P., Petrini, V. (2002), "Lifelines earthquake vulnerability assessment: a systemic approach", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **22**, pp. 1199–1208

[8] Petruccelli, U., Siciliano, L. (1995) "La mobilità in città di medie dimensioni: risultati di una sperimentazione", *SIIV - Studi e Ricerche*, supplemento alla rivista *Le Strade*, **1314**, pp. 15-21,

[9] Petruccelli, U. (2003) "Urban evacuation in seismic emergency conditions", *ITE Journal*, **8**, pp. 34-38

[10] Selcuk, A. S., Yucemen, M.S. (1999) "Reliability of lifeline networks under seismic hazard", *Reliability Engineering and System Safety*, **65**, pp. 213–227

[11] Selcuk, A.S., Yucemen, M.S. (2000) "Reliability of Lifeline Networks with Multiple Sources under Seismic Hazard", *Natural Hazards*, **21**, pp. 1–18

[12] Yoo, YB, Deo, N. (1988) "A comparison of algorithms for terminal pair reliability", *IEEE Transactions on Reliability*, **37**, pp. 210–215