



Strade, ferrovie e grandi rischi

TeMA
02.09

Ricerche

Trimestrale del Laboratorio
Territorio Mobilità e Ambiente - TeMALab

<http://www.tema.unina.it>
ISSN 1970-9870
Vol 2 - No 2 - giugno 2009 - pagg. 17-24

Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio
Università degli Studi di Napoli Federico II

© Copyright dell'autore.

Roads, Railways and Risks

Scira Menoni¹

Dipartimento di Architettura e Pianificazione
Politecnico di Milano
e-mail: menoni@mail.polimi.it

Strade e ferrovie come elementi vulnerabili

I sistemi di accessibilità sono essenziali non solo per la vita ordinaria di regioni e città, ma anche e soprattutto nel corso dell'emergenza, in quanto consentono il collegamento tra zone colpite e aree da cui possono arrivare i soccorsi e verso i quali possono essere mandate, in caso di necessità, le persone evacuate.

Diventa quindi essenziale conoscere lo stato delle infrastrutture di trasporto prima che si verifichi un evento estremo, al fine di prevenire le conseguenze peggiori (ovvero l'impossibilità di raggiungere le zone colpite) e per programmare per tempo interventi di mitigazione o riduzione del danno atteso. Ridurre la vulnerabilità delle infrastrutture di accessibilità non significa necessariamente intervenire fisicamente sulle reti; spesso è anzi più utile intervenire sul contesto delle reti, sulle relazioni sistemiche di dipendenza tra le stesse e con altre infrastrutture di servizio (tipicamente quello elettrico), piuttosto che sugli aspetti organizzativi e di coordinamento tra gestori di reti e gli enti di protezione civile e soccorso.

L'approccio che è stato seguito finora nell'analisi e valutazione della vulnerabilità delle reti, ovvero della loro capacità o incapacità di risposta a eventi estremi è stata da un lato di tipo ingegneristico, concentrando quindi l'attenzione sulle caratteristiche fisico-strutturali dei manufatti e delle sedi viaria e ferroviaria, piuttosto che di tipo geografico, osservando alla grande scala le opportunità di accesso alle diverse zone. I limiti di entrambi gli approcci sono abbastanza evidenti. L'approccio ingegneristico è spesso troppo concentrato su elementi puntuali, a fronte di reti che si sviluppano per centinaia di chilometri; inoltre raramente l'approccio ingegneristico classico tiene conto delle relazioni sistemiche tra le reti. D'altro canto, l'approccio geografico non tiene sufficientemente conto dell'interazione tra reti e fenomeni naturali, finendo col valutare solo le caratteristiche

Accessibility is a key factor in the ordinary life of cities and regions, but it becomes even more so in cases of emergencies and disasters. In the latter it is essential to keep transportation networks in service so as to provide assistance to those in need and to carry equipments and materials for search and rescue activities. Natural hazards may be an important threat for roads and railways, but they are barely considered in the design of future infrastructures. Instead, it is critical to be able to forecast how a given corridor may interact with existing hazards on the one hand and on the other to anticipate what would be the major obstacles in already existing networks. In this article a method to assess the vulnerability of lifelines to seismic risk will be illustrated. The latter was developed in the frame of a project funded by the Lombardia regional government in the years 1999-2001. This research linked the analysis of lifelines to other urban and regional systems, addressing the many induced and indirect damages which are the inevitable consequence of public utilities interruption.

The project provided two outputs: a vulnerability assessment of lifelines crossing the most seismic areas in the region and an event scenario. In both cases the work has been split in two steps: first suitable models have been developed, and then applied to the study area. The need for creating new models derives from the recognition that it is rather difficult to find systemic approaches in the current literature. The goal for this research, instead, was to start from the inter and intra dependency links connecting lifelines one to the other and to the many urban and regional systems which depend on them for their function. Therefore, it was decided to enlarge the scope of the project both spatially and systemically. With respect to the first issue, a larger area than that covered by the seismic municipalities of the region has been considered, so as to detect the spatial influence of localized damage. Regarding systemic factors, the degree of dependence on lifelines of other urban systems has been assessed for emergency situations and for the reconstruction phase. In the first case, hospitals, civil protection centres, fire departments were analysed so as to understand to which point and for how long they could still provide service without essential lifelines or being disconnected from major transportation routes. Referring to the reconstruction, not only the cost of repairs has been evaluated, but also the economic and social costs borne by economic sectors and by the population as a consequence of lifelines interruption or malfunctioning. Coherently, the final event scenario resembles much more to a chain connecting physical damages to the induced and secondary damages occurring in systems dependent on lifelines than to a sum of individual losses. First results obtained in the Brescia province show promising paths for future research, while pointing out the many obstacles that still exist to implement real interdisciplinary approaches.

della rete ma indipendentemente dalla possibilità che questa sia sollecitata in modo più o meno severo da un qualche fenomeno, sia esso una frana, un terremoto, un'alluvione. Le cronache degli eventi calamitosi di questi ultimi mesi, da quello più grave del terremoto aquilano alla piena del Po del 30 aprile 2009, ha visto infrastrutture stradali, anche importanti, pesantemente colpite, con l'inevitabile chiusura di tratti viari anche di peso nazionale (come nel caso dell'autostrada A/24 Roma-Aquila-Teramo).

Il peso di un'infrastruttura soggetta all'influenza di eventuali fenomeni calamitosi può variare di molto e riguardare una provincia, una regione o addirittura un ambito internazionale. E' il caso ad esempio della nuova strada a grande velocità che gli statunitensi hanno voluto per collegarsi a Panama, la cosiddetta Panamericana, che attraversa diversi paesi centroamericani soggetti a ogni tipo di calamità naturale, dai sismi, alle eruzioni vulcaniche, agli uragani. In genere tali grandi infrastrutture vengono progettate con un disegno di larga massima per individuare un corridoio privilegiato, mentre vengono demandate alla progettazione di dettaglio dei singoli tratti eventuali studi relativi a criticità definite "locali" come una frana o una nota faglia attiva.

L'esperienza della Panamericana, così come di molte altre infrastrutture, ha in verità mostrato come la progettazione di dettaglio non sia spesso in grado di affrontare né tantomeno di risolvere problemi di tale portata. Spesso infatti l'interazione con fenomeni pericolosi non può essere risolta

alla scala locale, mentre si sarebbe dovuto tenere in conto di tali fenomeni proprio nella scelta del corridoio privilegiato. In assenza di tale valutazione complessiva, si finisce solo con il registrare le criticità, senza darsi davvero modo di superarle.

Per portare un esempio ferroviario si potrebbe citare il caso dell'ammodernamento delle ferrovie svedesi, intrapreso negli anni Novanta, con l'obiettivo di migliorare diversi segmenti e di rendere più rapido il collegamento tra alcuni centri urbani principali (Boholm e Löfstedt 1999). Nel tratto che avrebbe dovuto essere di collegamento veloce tra Goteborg e Malmo, la presenza di un *horst* nella regione dell' Hallandsås –ovvero di una particolare struttura geologica che vede una porzione di territorio rialzata e divisa dalle confinanti da faglie profonde– non era stata tenuta in nessun conto in fase di progettazione. La peculiarità della struttura, con i problemi idrogeologici ad essa connessi, ha comportato dapprima l'impossibilità di scavare il tunnel per la società che aveva in appalto i lavori, quindi il passaggio ad un'altra società che, pur riuscendo a realizzare l'opera si è poi scontrata con problemi ancora più gravi. In particolare venute d'acqua che hanno rapidamente minacciato il tunnel appena costruito per arginare le quali è stata usata una sostanza impermeabilizzante altamente tossica che ha contaminato a sua volta le acque di falda da cui gli agricoltori attingono in questa zona del sud della Svezia, particolarmente rinomata per i suoi prodotti.

Schema per la valutazione della vulnerabilità in emergenza.





Schema per la valutazione della vulnerabilità nella fase di ripristino/ricostruzione.

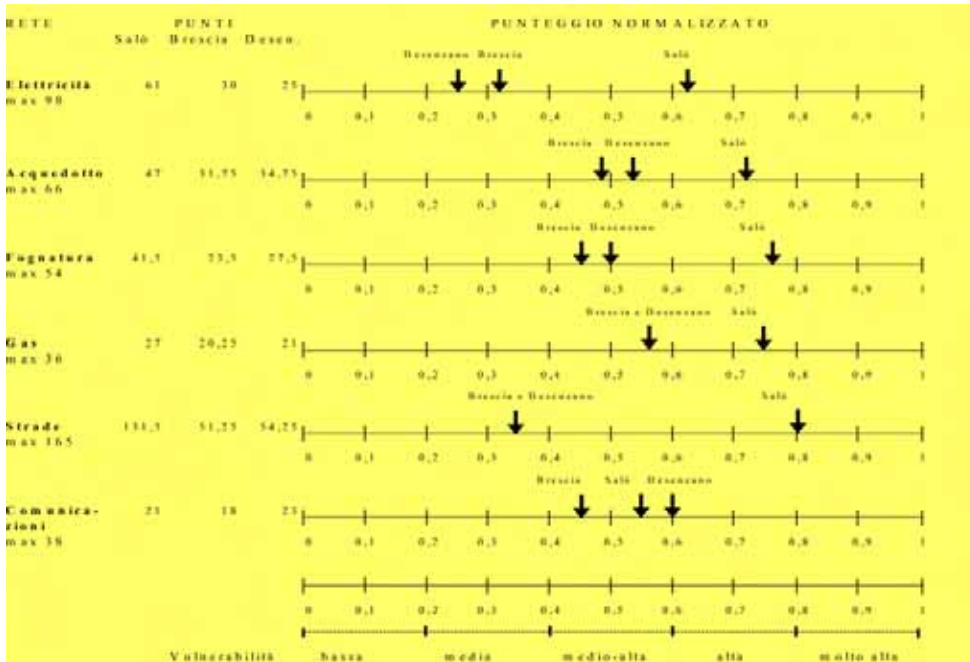
L'esempio brevemente illustrato delle ferrovie svedesi è emblematico di molti altri simili, all'interno e all'esterno dell'Europa: la presenza di rischi naturali può diventare uno di quei fattori che incrementano di molto, in maniera spesso sproporzionata, i costi iniziali previsti da un progetto per un'opera infrastrutturale. Flyvbjerg et al. (2003) citano proprio l'incontro/scontro con una fonte di pericoli naturali come uno degli elementi che può far lievitare oltre misura i costi preventivati per un'infrastruttura, nonché bloccarne la realizzazione effettiva per molto tempo, anche qui con effetti indiretti sui costi.

Sarebbe quindi auspicabile disporre di strumenti e schemi che consentano di valutare in anticipo, prima che un evento si verifichi, per quanto riguarda le infrastrutture già esistenti, e prima di realizzare le opere, per un'infrastruttura di nuovo impianto, la possibile interazione con i rischi naturali (e non). Come si diceva in apertura gli approcci esistenti sembrano insufficienti a rispondere in modo completo alle due esigenze di prepararsi prima di un evento, programmando gli interventi di prevenzione secondo una priorità definita sulla base del rischio e dell'importanza strategica dell'infrastruttura, così come per progettare un nuovo corridoio. A scala europea

ad esempio, il progetto ESPON per quanto attiene alla tematica rischi naturali, ha elaborato alcune cartografie sulle reti stradale e ferroviaria come possibili elementi di esposizione e vulnerabilità, senza però arrivare ad una vera e propria valutazione di vulnerabilità, seppure a scala ampia. Sembrerebbe che anche per la progettazione dei grandi corridoi continentali, come ad esempio il corridoio 5, si sia prima definito un percorso per connettere i centri di interesse, per poi demandare alla progettazione di dettaglio la definizione di problemi "locali". Il problema è che i rischi naturali possono essere concepiti come un problema locale solo in alcuni limitati casi; nella maggioranza dei casi si tratta invece di problemi sistemici, legati all'interdipendenza delle infrastrutture e alla complessa interazione ambiente/strutture.

Valutazione di vulnerabilità delle reti al rischio sismico: proposta di un metodo

Negli anni 1999-2001 la Regione Lombardia ha commissionato un lavoro abbastanza unico nel suo genere, volto a valutare



Sintesi dei risultati dell'applicazione in provincia di Brescia.

la vulnerabilità dei servizi a rete al rischio sismico. Pur non essendo la Lombardia una regione particolarmente esposta a tale rischio, tale lavoro faceva seguito a un decennio di studi sulla vulnerabilità urbanistica dei centri esposti a rischio

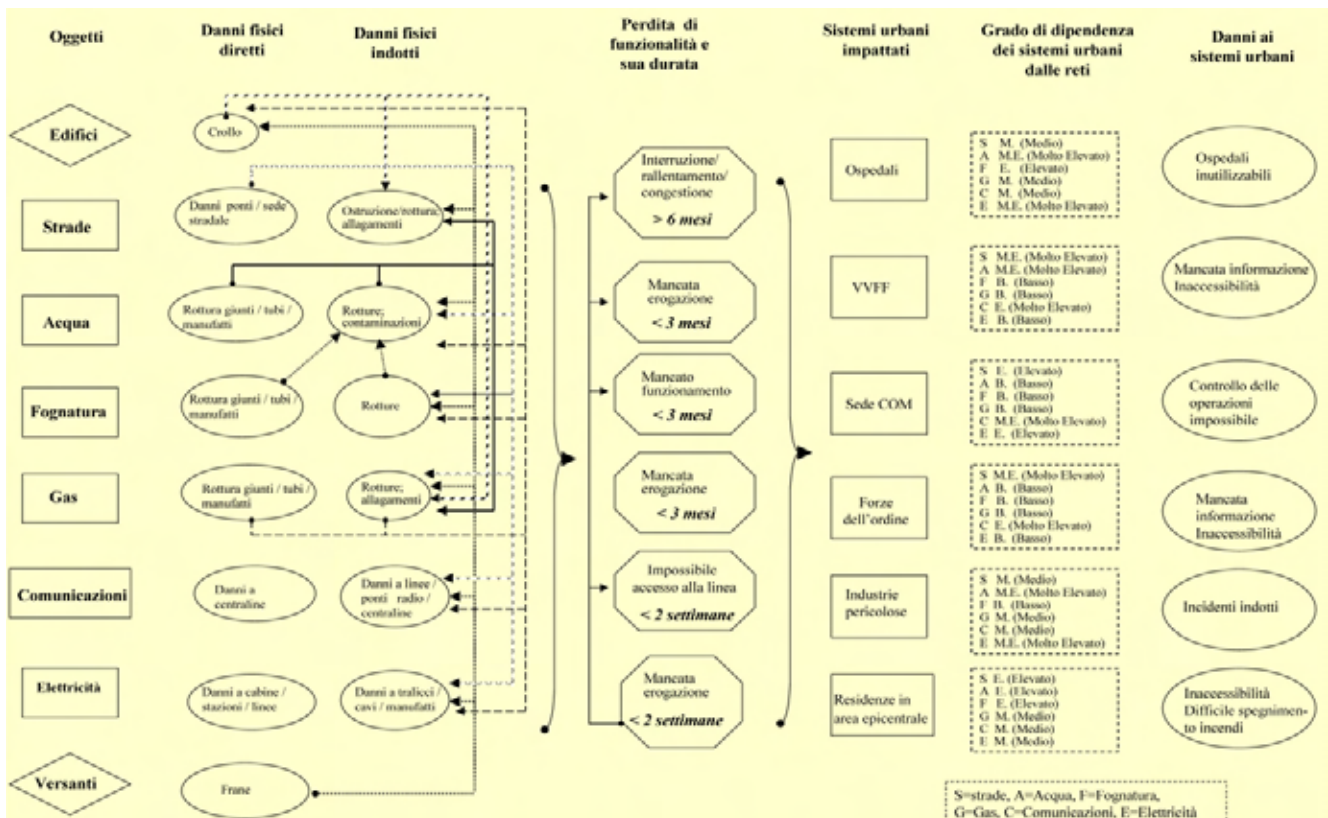
territoriale dall'altro.

Il progetto, sviluppato per conto della Regione Lombardia e con applicazioni in provincia di Brescia in quanto area a più alta pericolosità sismica, ha avuto due tappe principali: una

sismico, quindi in un'ottica territoriale oltre che da "ingegneria civile delle costruzioni". Inoltre, la costruzione di una metodologia per la valutazione della vulnerabilità delle infrastrutture avrebbe potuto risultare utile anche per altri tipi di fenomeni, soprattutto se, come nel caso in questione, si considerava il problema nella sua globalità, anziché limitarsi alla questione della resistenza fisica di un impianto o di certo tipo di segmenti allo scuotimento sismico.

La metodologia elaborata in un lavoro congiunto tra Regione Lombardia e Politecnico di Milano aveva proprio questa finalità: fornire uno strumento capace di combinare e integrare diversi tipi di approcci e di analisi, e in particolare l'approccio ingegneristico da un lato e quello

Modello per la costruzione di scenari nella fase di emergenza.



prima relativa alla costruzione del metodo di valutazione di vulnerabilità vero e proprio; una seconda riguardante l'elaborazione di un metodo per la costruzione di scenari di evento, che consentono cioè di simulare un terremoto di una data intensità e con determinate caratteristiche e di analizzarne le conseguenze sui sistemi territoriali di interesse. Per quanto riguarda la valutazione della vulnerabilità delle infrastrutture, si è utilizzato uno schema di tipo matriciale (cfr. schema a pag. 18).

In colonna vengono rappresentati tre diversi aspetti della vulnerabilità: funzionale, organizzativo e fisico. L'aspetto funzionale guarda alle caratteristiche della rete che la rendono più o meno capace di continuare a svolgere il suo

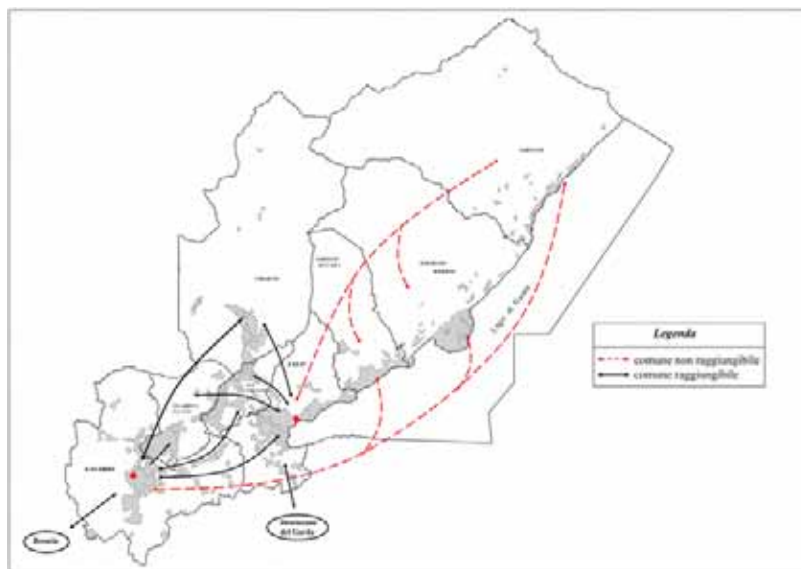
ruolo anche a fronte di un certo livello di danneggiamento fisico. Si considerano parametri quali forma della rete (nel caso delle strade elementi quali larghezza, inclinazione, presenza di curve e tornanti), grado di ridondanza (sempre nel caso viario, numero di accessi alternativi ad uno stesso centro). L'aspetto organizzativo riguarda sia la capacità dei singoli enti che gestiscono una determinata infrastruttura, sia degli enti che in caso di emergenza verrebbero comunque ad interagire. In questo caso si può citare a titolo esemplificativo la necessità da parte degli enti gestori dell'acqua o del gas di intervenire con urgenza sulla rete in caso di guasti prodotti dal sisma, comportando cioè la chiusura di un tratto di strada e la necessità di perforare. I singoli

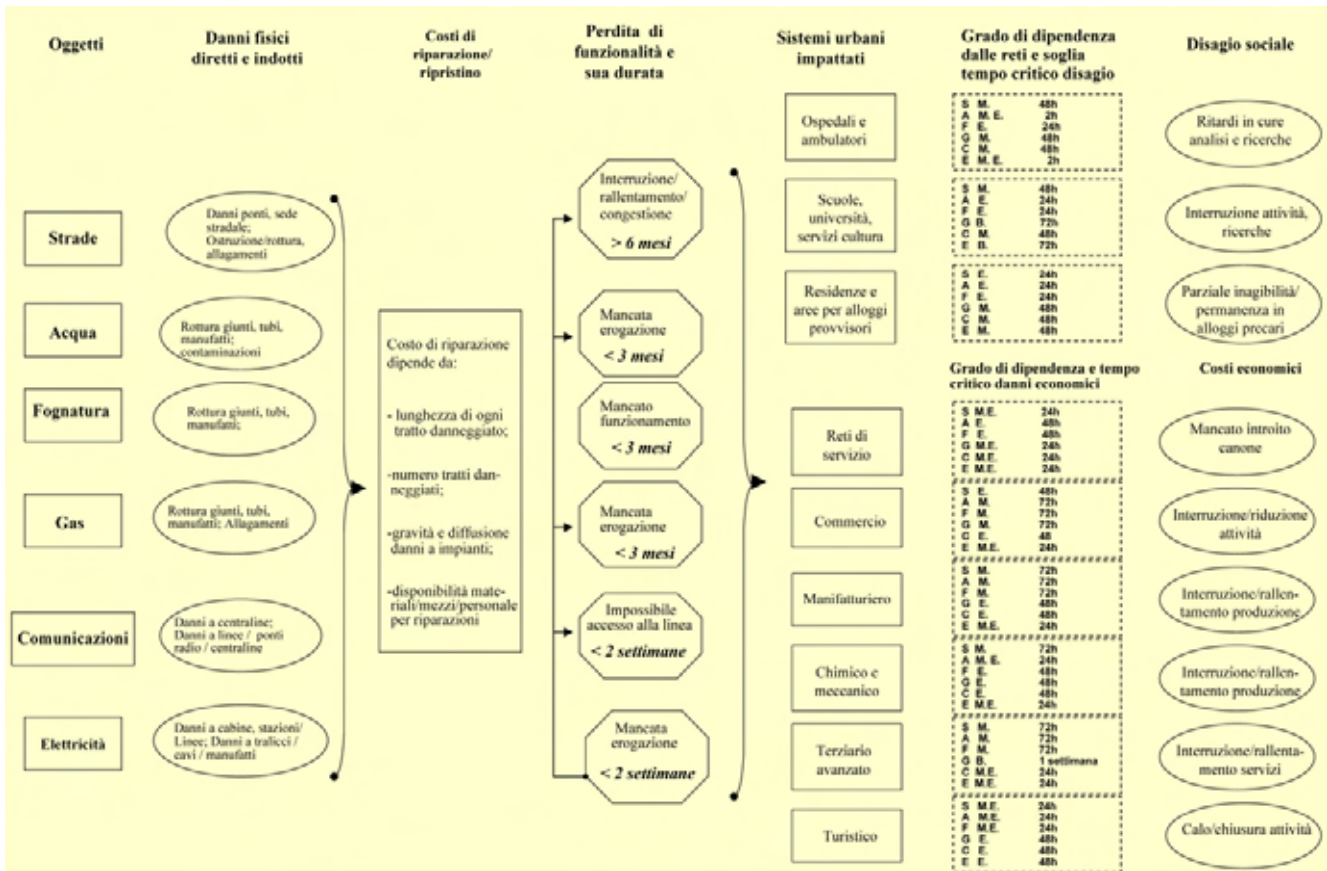
enti sono generalmente abituati a fronteggiare guasti riguardanti le loro reti in condizioni ordinarie, ma sono meno preparati a risolvere emergenze di larga scala, in cui il loro stesso operare è condizionato da molti altri soggetti istituzionali, responsabili di altre reti o della protezione civile nel suo complesso.

Infine, per quanto riguarda l'aspetto fisico, è chiaro che alcune opere in particolare, come ponti e muri di sostegno possono essere danneggiati in caso di sisma. Per quanto riguarda i ponti è stata realizzata una scheda speditiva di valutazione di vulnerabilità (Menoni et al. 2007), che consente sulla base di alcuni elementi chiave di esprimere un primo giudizio sulla capacità o meno di un ponte di resistere ad un terremoto, analogamente a quanto viene fatto per le costruzioni, sulla base delle schede di valutazione di vulnerabilità consolidate in oltre vent'anni di esperienza dal Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti.

Le righe della matrice sono anch'esse raggruppate in tre categorie, relativamente ad aspetti sistemici, di sito e territoriali. Con la prima categoria si intendono le debolezze derivanti dall'interdipendenza tra sistemi. Particolarmente evidente è il caso dell'interazione tra strade e ferrovie con versanti franosi o edifici vulnerabili. Entrambe le infrastrutture potrebbero venire ostruite da volumi di materiale distaccatosi da un versante o derivante dal possibile crollo parziale o totale di edifici vulnerabili. Nel caso delle frane, inoltre, può avvenire che le infrastrutture siano esse stesse site sulla parte attiva di un versante, con la possibilità, peggiore rispetto alla precedente, di essere trascinate a valle, provocando l'interruzione inevitabile e per un tempo sicuramente più lungo di quello necessario a rimuovere eventuali detriti.

Scenario sismico in una zona campione della Regione Lombardia (Ambito di Salò). In basso schema di accessibilità per i Vigili del Fuoco localizzati presso il Comune di Salò, in alto lo schema di accessibilità ai comuni con ospedali.





Schema per la costruzione di scenari rispetto alla fase di ripristino/ricostruzione.

Le vulnerabilità derivanti dalla collocazione fisica delle reti riguarda per la verità più altre reti, quali quella del gas o idriche generalmente site al di sotto del sedime stradale. In questo caso è la stessa compresenza fisica di più reti che potrebbero influenzarsi negativamente a vicenda in caso di terremoto ad interessare l'analista. Indubbiamente è accaduto che l'esplosione di reti idriche abbia comportato l'allagamento e la conseguente chiusura di tratti stradali. L'ultimo gruppo di righe è un po' diverso dai precedenti, in quanto non mira a valutare la vulnerabilità delle reti in quanto tali quanto, piuttosto, la vulnerabilità del territorio alla perdita di quelle reti che si stanno considerando.

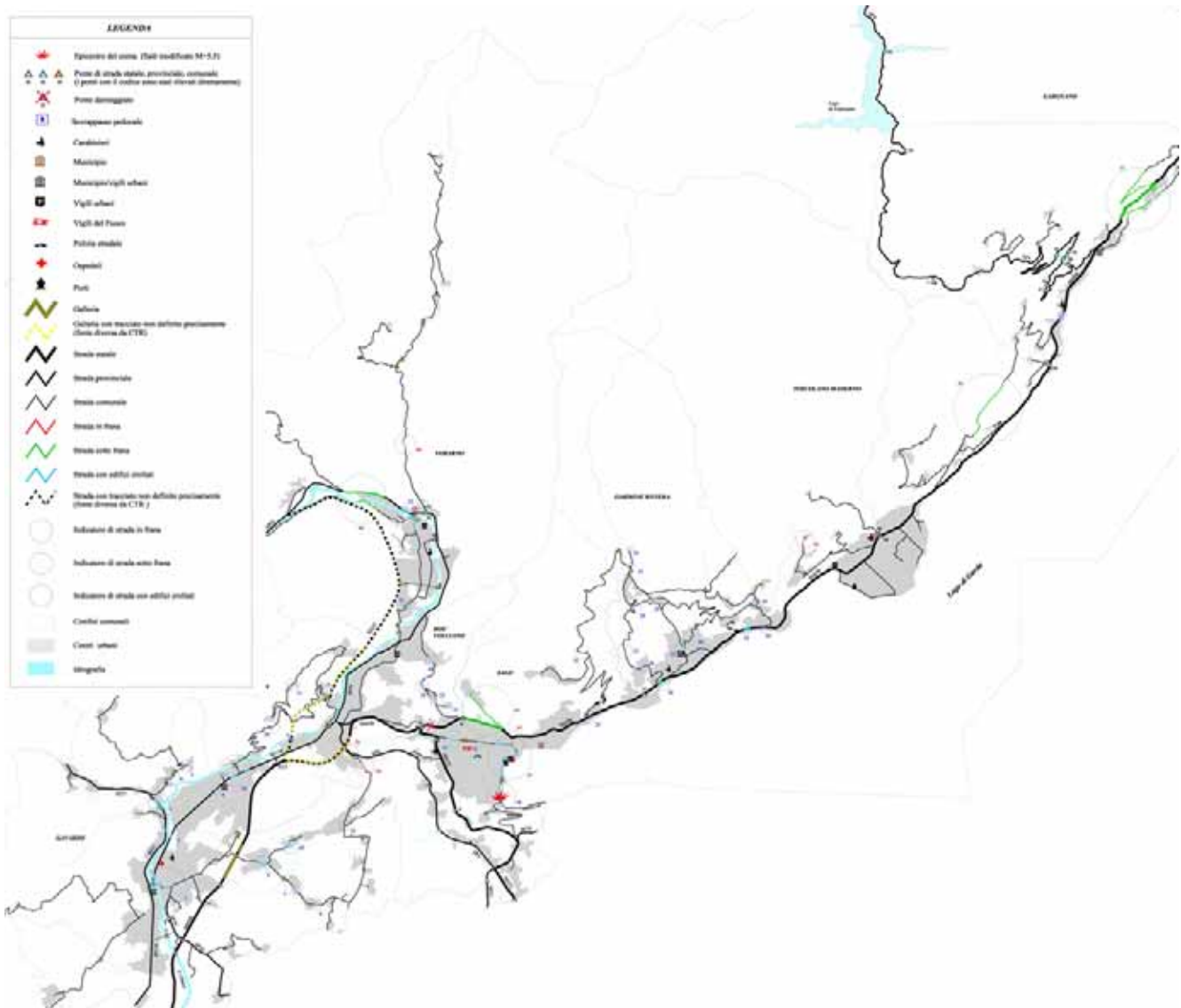
Nel caso delle infrastrutture di trasporto tale vulnerabilità è tanto più elevata quanto più esse risultano strategiche per il territorio di interesse: in tali casi, infatti, la loro perdita ha influenza sulle operazioni di soccorso in prima istanza e secondariamente sul ritorno alla normalità e sull'economia di un'area.

Quest'ultima considerazione spiega perché lo schema di valutazione della vulnerabilità sia stato distinto in due fasi: emergenza e ricostruzione (cfr. anche lo schema a pag. 19). Per quanto riguarda la fase di emergenza ci si limita a valutare la risposta del sistema infrastrutturale nel supportare le operazioni di soccorso; nella fase di ripristino e ricostruzione si valutano le possibili conseguenze dell'interruzione delle

reti in un dato contesto sociale, determinando quindi disagio più o meno prolungato per gli utenti, ed economico. Le infrastrutture sono spesso fondamentali per garantire l'accesso ai mercati nonché il rifornimento di materie grezze per l'industria ma anche per i servizi: la durata dell'interruzione e l'importanza delle reti coinvolte sono parametri di valutazione fondamentali.

L'aspetto della vulnerabilità organizzativa è forse quello che meglio rende l'idea del diverso tipo di parametri che si sono valutati nella prima e nella seconda fase temporale di un evento calamitoso. Rispetto all'emergenza si valuta la capacità (o l'incapacità) degli enti che gestiscono la strada e/o le reti ad essa connesse di coordinarsi per permettere l'accesso alle zone colpite e da queste alle aree di destinazione degli evacuati; rispetto alla fase di ricostruzione si valuta invece la rapidità con cui ad esempio le amministrazioni sono in grado di concedere i permessi per le eventuali riparazioni, di convogliare i fondi per il ripristino delle opere, etc.

La metodologia descritta è stata applicata ai comuni del Garda Bresciano, suddividendoli in tre ambiti territoriali: quello di pianura a sud del Garda, denominato "ambito di Desenzano", quello dell'area metropolitana di Brescia e quello a Ovest del Garda, dei comuni attraversati dall'unica strada, la cosiddetta Gardesana, denominato ambito di Salò.



Scenario sismico di danno della rete stradale in una zona campione della Regione Lombardia (Ambito di Salò).

L'applicazione ha consentito di confrontare la vulnerabilità degli ambiti territoriali ora descritti e, nel contempo, di identificare le infrastrutture a rete a più alta vulnerabilità. La metodologia sviluppata consente anche di verificare quali sono i parametri che hanno pesato maggiormente nella valutazione finale, costituendo così un importante riferimento per le politiche di prevenzione.

Il modello per generare scenari di danneggiamento alle reti in seguito a terremoto

La seconda parte del lavoro è consistita nella realizzazione di un modello per la costruzione di scenari, intesi non solo come quadri di danneggiamento conseguenti ad un sisma, ma anche e soprattutto come proiezione nel futuro di quanto potrebbe avvenire nei vari sistemi dipendenti dalle

reti come conseguenza dell'impatto di un evento sismico prefissato su reti con un livello di vulnerabilità valutato attraverso la metodologia precedentemente illustrata.

Le diverse fasi temporali di un evento calamitoso sono evidenziate attraverso il tipo di danno che le scandisce: nella fase dell'impatto avviene la maggior parte dei danni fisici; nel corso dell'emergenza sono i cosiddetti danni sistemici, derivanti cioè dalle interconnessioni tra i diversi sistemi, a prevalere, soprattutto per la loro rilevanza ai fini della conduzione delle operazioni di soccorso; le fasi di ripristino e ricostruzione sono state rappresentate in un secondo schema, coerentemente con quanto fatto per la valutazione di vulnerabilità.

Il punto nodale del modello è che i danni si concatenano nel tempo, in modo tale che il terremoto provoca i danni diretti alle infrastrutture, le quali a loro volta possono essere danneggiate fisicamente da altri sistemi, come gli edifici e i

versanti franati. I danni fisici e non più il terremoto in quanto sollecitazione fisica sono l'input dei danni sistemici, in quanto si considera che è il mancato funzionamento di alcune parti delle reti a provocare le cadute di sistema tanto temute in emergenza. Nel corso della ricostruzione poi i danni fisici e i danni sistemici diventano l'input dei danni di lungo periodo, i quali dipendono non solo dalle conseguenze fisiche del terremoto e da quelle indotte e secondarie sui vari sistemi, ma anche e in modo rilevante, da carenze organizzative e dall'incapacità di mettere a disposizione mezzi, personale e velocizzare i tempi di progettazione, approvazione, approntamento dei fondi necessari.

I tempi di massima interruzione delle reti considerati nel modello sono stati desunti dal terremoto di Kobe. Tuttavia, essi potrebbero essere più o meno lunghi, dipendendo cioè in buona parte anche da fattori di tipo organizzativo.

Come si evince dallo schema, furono necessari più di dodici mesi per ripristinare la rete stradale. Ciò per diversi motivi, dalla necessità di provvedere prima alla riparazione delle reti sottostanti, nonché ai problemi di congestionamento e di traffico che ostacolarono in modo formidabile l'opera dei tecnici impegnati nella ricostruzione.

Anche in questo lavoro, la zona prescelta per l'applicazione è stata quella del Garda Bresciano, anche se ci si è limitati all'area risultata maggiormente vulnerabile, ovvero quella di Salò e dei comuni lungo la statale Gardesana.

Il terremoto determinato per la simulazione, con epicentro a Salò e magnitudo pari a quella di un terremoto storico avvenuto nel Veronese (6.7 sulla scala Richter), comporterebbe danni rilevanti sulle infrastrutture viarie: dall'interruzione di tratti di strada ad ostruzioni dovute a frane; dai danni diretti ad elementi critici (ponte) all'ostruzione di segmenti viari dovuta alle macerie di edifici parzialmente crollati per effetto del sisma.

Anche le conseguenze sistemiche sono rilevanti per l'area in esame: la più rilevante è l'evidente impossibilità di raggiungere i comuni a nord di Salò, sede dell'ospedale e importante nodo di interscambio per raggiungere ed essere raggiunti da Brescia, via terra (cfr. mappe a pag. 21). Tale scenario pone all'attenzione della protezione civile la necessità di predisporre un piano di emergenza che tenga conto della necessità di fare arrivare i soccorsi da un'altra regione, ovvero dal Trentino a nord, considerando tuttavia l'eventualità che l'unica strada di accesso possa essere bloccata anche da quella parte, piuttosto che via lago, istituendo un sistema di supporto logistico alle operazioni di soccorso usando mezzi navali.

Conclusione

Il caso illustrato mostra come sia possibile, nonché utile, integrare in modo sistemico competenze disciplinari diverse, soprattutto quando l'oggetto dell'analisi è particolarmente complesso. I modelli messi a punto per la valutazione della vulnerabilità da un lato e la costruzione di scenari dall'altro sono sufficientemente aperti e flessibili da permettere di includere di volta in volta nuove informazioni e nuove conoscenze quando queste diventino disponibili.

Vi è ancora molto da fare in questo campo, sia per quanto attiene allo sviluppo di strumenti di valutazione per singole componenti delle reti, che non sono state affrontate nel lavoro condotto per la Regione Lombardia, sia per quanto attiene al livello di complessità da calibrare in base alla scala territoriale alla quale si sta pianificando un intervento per una nuova opera o per la messa in sicurezza di quelle esistenti.

Note

- ¹ Il lavoro sviluppato per la Regione Lombardia e citato nel testo è stato realizzato da un gruppo di lavoro, coordinato dal prof. Vincenzo Petrini del Politecnico di Milano e composto da: Dott.ssa Floriana Pergalani, Ing. Maria Pia Boni che ha curato peraltro le cartografie.

Riferimenti Bibliografici

- Boholm A., Löfstedt R. (1999) "Issues of risk, trust and knowledge: the Hallandsås tunnel case", *Ambio*, vol. 28:6, Settembre.
- Flyvbjerg B., N. Bruzelius, W. Rothengatter (2003) *Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition*, Cambridge University Press.
- Menoni S., Pergalani F., Boni M. P., Petrini V. (2007) "Lifelines earthquake vulnerability assessment: a systemic approach", in Linkov I. (ed.) *Risk Management Tools For Port Security, Critical Infrastructure, and Sustainability*, Springer&Verlag, pp. 111-132.

Referenze immagini

L'immagine di pag. 17 è tratta dal sito web <http://www.guardian.co.uk/world/gallery/2008/jun/16/japan.naturaldisasters?picture=335047721>.