



Reti per la mobilità e sicurezza¹

Adriana Galderisi*, Andrea Ceudech**

* Laboratorio Territorio Mobilità e Ambiente - TeMALab
Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio
Università degli Studi di Napoli Federico II
e-mail: galderis@unina.it; web: www.dipist.unina.it

** Laboratorio Territorio Mobilità e Ambiente - TeMALab
Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio
Università degli Studi di Napoli Federico II
e-mail: ceudech@unina.it; web: www.dipist.unina.it

Reti per la mobilità e sicurezza ai rischi

Una riflessione centrale nell'ambito del rapporto mobilità e sicurezza è quella relativa al ruolo che le reti per la mobilità rivestono o possono rivestire nel garantire la sicurezza del territorio rispetto a fattori di rischio, naturali o antropici. Già da alcuni anni, accrescere la sicurezza delle comunità insediate ai rischi costituisce uno degli obiettivi prioritari delle strategie volte ad orientare in chiave di sostenibilità lo sviluppo urbano e territoriale: una comunità può essere definita sostenibile e resiliente quando è organizzata in modo tale da minimizzare gli effetti di un evento calamitoso e da garantire un rapido processo di recupero (Tobin 1999). Le reti per la mobilità rivestono, in tale contesto, un ruolo centrale: esse rappresentano, infatti, uno degli elementi costitutivi del più ampio sistema delle *Lifelines*, ovvero del sistema di reti che fornisce i servizi essenziali per la vita quotidiana delle comunità – da cui dipende la salute, il comfort e, più in generale, il benessere socioeconomico – consentendo, nel contempo, una efficace risposta in caso di emergenza (Paton e Johnston 2006). Le reti per la mobilità costituiscono dunque, da un lato, elementi esposti e spesso ad elevata vulnerabilità rispetto ai diversi fenomeni calamitosi e, nel contempo, attrezzature di importanza strategica sia per la vita quotidiana di una collettività che per la gestione dell'emergenza, risultando indispensabili per garantire l'accesso e l'esodo dalle aree colpite nella fase dell'immediato post evento. Il danneggiamento o la ridotta funzionalità di tali reti può incrementare, anche significativamente, le perdite di vite umane conseguenti ad un evento calamitoso, oltreché indurre danni economici rilevanti anche su orizzonti temporali di medio-lungo periodo. Inoltre, ampliando il campo di attenzione dalle reti come supporti fisici ai flussi di persone e beni che esse supportano, gli impatti di un evento calamitoso su singoli elementi di tali reti possono indurre eventi secondari anche di grande rilevanza quali, ad

Mobility Networks and Safety

A key point to explore the relationship between mobility and security is the role of mobility networks for ensuring territorial safety with respect to natural and man-made hazards. For many years, increasing the security of settled communities against hazards has represented one of the main target of the strategies meant to address a sustainable urban and territorial development. Mobility networks play a crucial role in that context.

They represent a basic support for the community's everyday life, on which health, comfort and a large part of economic activities depend; moreover, they represent exposed elements often characterized by high vulnerability to different hazards and, in the meanwhile, strategic equipments for the emergency management.

The damage or the reduced functionality of those networks can increase the loss of human lives caused by an hazardous event as well as produce relevant economic damages at medium and long term. Besides, by extending the investigation field from the networks meant as physical supports to the flows of goods along them, the impacts of an hazardous event on such elements can provoke relevant secondary events (toxic releases, explosions and so on).

Although the relevance of the mobility networks in assuring territorial safety is at present largely recognized, risk analyses have been long focused on buildings' vulnerability or, even where they have paid attention to the mobility networks, they mainly stressed the physical damages that a given event could produce to the single elements of such networks. It is still recent the awareness that mobility networks represent a system, characterized by relevant interdependences: either because each element of the network is linked to all the others, or because there are several interdependences not only among the different typologies of network infrastructure, but also among network infrastructure and urban systems.

Starting from the above assumptions, this paper points out the several aspects of the vulnerability of mobility networks and their relevance in determining the vulnerability of a territorial or urban system to hazardous events. Therefore, it is suggested an in-depth investigation of the concept of vulnerability of the mobility networks, in order to highlight the aspects mostly analyzed until now. Finally, a case study in the Campania Region has been provided in order to point out how the traditional risk analyses, usually based on single hazardous events, can sometimes led to invest in the improvement and adjustment of mobility networks which, targeted to increase the security of a territory, on the contrary, produce an increase of the territorial vulnerability.

The case study is part of a wider study developed by the authors within the Italian Research Project (PRIN) 2006-2008 entitled "Early warning Systems: technical, urban planning and communication aspects".



Gli impatti di eventi calamitosi sulle reti viarie sono eterogenei per tipologia ed entità dei danni indotti: da quelli fisici, che vanno da piccole fessurazioni del manto stradale alla perdita di interi tratti di rete, a quelli funzionali connessi ad ostruzioni, più o meno temporanee, di tratti della rete.

esempio, rilasci tossici o esplosioni, dovute a danni sulla rete che coinvolgono mezzi per il trasporto di sostanze pericolose o serbatoi localizzati lungo la rete o all'interno dei nodi della rete di trasporto.

Tuttavia, nonostante la riconosciuta centralità delle reti per la mobilità, nel garantire la sicurezza del territorio, le analisi di rischio sono state a lungo incentrate prevalentemente sui manufatti edilizi, focalizzando al più l'attenzione sui danni fisici che un dato evento poteva indurre su singoli elementi della rete stessa. È ancora abbastanza recente la consapevolezza che le reti per la mobilità costituiscono un sistema, caratterizzato da rilevanti connessioni e interdipendenze: sia in quanto ciascun elemento della rete è connesso a tutti gli altri, sia in quanto numerose sono le interdipendenze non solo tra le diverse tipologie di infrastrutture a rete ma anche tra infrastrutture a rete e sistemi urbani. Strade e ferrovie, ad esempio, potrebbero non subire danni diretti in conseguenza di un evento calamitoso ma danni o guasti, anche rilevanti, conseguenti al danneggiamento di altre infrastrutture a rete: da quelle elettriche a quelle fognarie. Analogamente, all'interno di un tessuto urbano, le reti viarie e ferroviarie potrebbero subire perdite di funzionalità a causa di ostruzioni provocate dal crollo, parziale o totale, di manufatti edilizi.

In ragione di tali considerazioni, nelle pagine che seguono si evidenziano, anche attraverso la descrizione di eventi passati, i molteplici aspetti della vulnerabilità delle reti per la mobilità e la loro rilevanza nel concorrere a determinare, più in generale, la vulnerabilità di un sistema urbano o territoriale ad eventi calamitosi. Si propone, quindi, un approfondimento del concetto di vulnerabilità delle reti per la mobilità, al fine di evidenziarne gli aspetti finora maggiormente esplorati in ambito scientifico. Infine, nell'ultima parte del contributo, viene proposta una riflessione su un comune della Regione Campania caratterizzato da rilevanti problemi idrogeologici. Tale riflessione che si basa su un più ampio studio sviluppato

dagli autori nell'ambito del Progetto di Interesse Nazionale 2006-2008 dal titolo "Sistemi di allarme precoce: aspetti tecnici, urbanistici e di comunicazione", evidenzia come le tradizionali analisi di rischio, generalmente incentrate su singoli eventi calamitosi, possano talvolta condurre ad investimenti di potenziamento o adeguamento delle reti per la mobilità che, nati per accrescere la sicurezza del territorio, possono avere quale esito, di contro, un complessivo incremento delle condizioni di vulnerabilità.

Eventi calamitosi e reti per la mobilità: quali impatti?

Gli impatti di eventi calamitosi naturali e antropici sulle reti per la mobilità sono molteplici e comprendono non soltanto i danni fisici diretti, ma anche danni di tipo indiretto come la perdita di accessibilità alle zone colpite, con conseguenze spesso drammatiche sulle operazioni di soccorso, e/o danni economici sia a scala locale che regionale nel lungo periodo. I danni più evidenti e maggiormente documentati in letteratura sono quelli di tipo fisico causati da diversi fattori di pericolosità sia naturale che, in misura minore, antropica: in particolare, i danni causati dai terremoti, frane e alluvioni sulle reti viarie e ferroviarie.

I danni fisici determinati da eventi sismici alla rete stradale possono essere di diversa entità. Molto spesso il canale, seppure danneggiato, può continuare a svolgere la propria funzione: è frequente ad esempio a seguito di un sisma, la comparsa di piccole fessurazioni della superficie del manto stradale che non determinano una immediata perdita di funzionalità del canale ma ne provocano una più veloce degradazione nel corso del tempo, come è avvenuto nel sisma di Tohoku-Oki a Hokkaido nel 2003. Frequentemente, si registrano però danni tali da incidere significativamente sulla funzionalità del canale. Tali danneggiamenti, spesso dovuti a liquefazioni locali o a rotture del suolo su cui le

infrastrutture insistono, determinano una totale perdita di funzionalità del canale, in conseguenza del danno fisico o, in alcuni casi, il danneggiamento o il crollo di elementi critici della rete quali ponti, viadotti, gallerie.

I terremoti giapponesi e quelli nord americani offrono un notevole repertorio di tali tipologie di danni. Il terremoto di Hokkaido del 1994 causò danni rilevanti alle infrastrutture viarie, con fratture e rotture dovute a liquefazioni locali ma anche con vibrazioni e scivolamenti delle parti più esterne dei canali. Durante il terremoto di Kobe nel 1995 si registrarono rotture "ad isole" che determinarono il collasso di importanti assi stradali (Tung 2004).

Va inoltre considerato che le infrastrutture viarie rivestono spesso un ruolo centrale nel più complessivo sistema della mobilità: l'interruzione di un asse viario può, pertanto, generare ripercussioni su tutto il sistema della mobilità sia a scala locale che in un più ampio contesto regionale determinando, talvolta, conseguenze significative anche in termini di perdita di vite umane.

Il crollo, parziale o totale, di viadotti e ponti costituisce uno degli impatti più tipici degli eventi sismici. Ciò è testimoniato da numerosi eventi: il terremoto di Northridge in California nel 1994, che provocò il crollo di 6 ponti e il danneggiamento di 157 elementi tra ponti e viadotti; quello avvenuto nel 1989 a Loma Prieta, che danneggiò oltre 80 infrastrutture; quello del 1964 in Alaska, che determinò il crollo dei ponti della Cooper River Highway o, ancora, il terremoto di San Fernando in California del 1951, che provocò la parziale distruzione dei ponti sulla Golden State Freeway².

La perdita di funzionalità del canale può verificarsi anche in assenza di danni fisici rilevanti, in conseguenza di catene di eventi indotti dal sisma o a causa della presenza di macerie che ostruiscono il canale. In alcuni casi, sono evidenti i danni alle reti per la mobilità causati non direttamente dal sisma ma da altri fenomeni naturali indotti dal sisma stesso: frane indotte dal movimento sismico, alluvioni generate dalla rottura di dighe e argini non resistenti al sisma, incendi o incidenti tecnologici. Mentre nelle aree collinari o montane è spesso possibile rinvenire ostruzioni determinate dalle frane

innescate dal sisma, nei centri urbani, in particolare nei centri storici, il problema più rilevante è, nella maggior parte dei casi, l'ostruzione dei canali viari a causa delle macerie dovute al crollo degli edifici.

Nel primo caso le frane indotte dal terremoto, pur non procurando danni rilevanti al canale, possono determinare perdite di funzionalità che può essere però ripristinata anche in tempi brevi, come è accaduto a seguito del terremoto di Miyagiken-Hokubu in Giappone del 2003.

Nelle aree urbane sono invece molto diffuse le ostruzioni degli assi viari in conseguenza di crolli, parziali o totali, dei manufatti edilizi, spesso con danni molto lievi alla superficie del canale. Eventi di questo tipo sono stati registrati in numerosi casi di terremoti, anche non distruttivi, che hanno impattato realtà urbane storiche e dalla morfologia compatta: è il caso del recente terremoto avvenuto in Abruzzo o di quello dell'Umbria-Marche nel 1997 o, ancora, degli eventi che colpirono l'Irpinia e il Friuli. Eventi di questo tipo si sono registrati anche a seguito dei numerosi eventi sismici che hanno interessato altre regioni del Mediterraneo, come la Grecia, o località orientali come il Giappone o Taiwan. Oltre ai terremoti, altri fenomeni calamitosi che possono causare danni fisici diretti alle reti stradali sono, ad esempio, le frane –che determinano, in genere, danni localizzati, ostruendo i canali con depositi di rocce, fango e terra specie nelle aree montane e collinari, interrompendo i collegamenti tra diversi ambiti territoriali– i fenomeni vulcanici quali lave e flussi piroclastici o, ancora, fenomeni quali tsunami, uragani ed alluvioni. Queste ultime possono provocare sia danni fisici diretti al manto stradale, sollevando la pavimentazione e erodendo lo strato superficiale della strada, sia ostruzioni con fango e detriti che necessitano di lunghi interventi dopo l'evento per ripristinare la funzionalità. Durante l'alluvione del 2008 in Piemonte si sono verificati numerosi episodi di danneggiamento ed interruzioni delle reti stradali, anche con il crollo di ponti e muri di sostegno determinati da erosioni laterali e trasporto di fango e detriti.

Tra le più complete casistiche di danni alla rete stradale da fenomeni alluvionali è indubbiamente quella dovuta

Molto frequente in caso di eventi calamitosi è il danneggiamento o il crollo di elementi critici della rete, quali ponti, viadotti o gallerie.





Numerosi sono i danni, sia fisici che funzionali, che possono essere determinati dalle frane lungo le reti viarie.

all'uragano Katrina, che ha evidenziato come catene di eventi apparentemente "improbabili" possano essere più frequenti di quanto si possa ipotizzare: dal movimento di un grande serbatoio di carburante per aerei lungo una *freeway*, all'incastro di imbarcazioni sotto i ponti stradali, con conseguente chiusura dei tratti viari per riparazioni (Wyndham Partners 2005).

Nel caso delle reti su ferro, i danni provocati da eventi calamitosi sono simili a quelli descritti per le reti viarie, con l'aggiunta dei possibili deragliamenti di vettori per il trasporto di sostanze pericolose in transito sulla rete: è quanto avvenuto nel recentissimo disastro di Viareggio, dove il deragliamenti di un treno merci per il trasporto di GPL in prossimità della stazione –in un'area in cui la linea ferroviaria è costeggiata di palazzi– ha causato la fuoriuscita del gas da uno solo dei vagoni e la conseguente esplosione ha provocato oltre venti morti e cinquanta feriti, la distruzione di due edifici in prossimità della stazione e l'evacuazione di altri manufatti danneggiati dall'esplosione e dal fuoco.

Più in generale, in riferimento agli incidenti tecnologici, è possibile distinguere quelli che accadono lungo le reti per la mobilità, a causa del trasporto di sostanze pericolose, e quelli che, accadendo presso impianti e serbatoi, investono elementi delle stesse reti.

Per quanto riguarda la prima tipologia di eventi è possibile menzionare, oltre al già citato disastro di Viareggio, l'evento del 1978 a San Carlos de la Rapita (Spagna), quando il sovrariempimento di una autocisterna che trasportava 22 tonnellate di propilene causò un *fireball* con 200 morti in un camping, o quello accaduto nel 1976 a Houston, quando un'autocisterna da 19 tonnellate di ammoniaca precipitando da un'altezza di 10 m determinò il formarsi di una nube tossica causando 6 morti. In Italia, si ricordano l'evento di Capannori avvenuto lungo l'Autostrada Firenze-Mare nel 1982 per un tamponamento a catena dovuto alla nebbia³ che provocò 4 morti e 2 feriti o, ancora, il disastro di Casalguidi del 1985⁴ che provocò 2 morti e 4 feriti. I più noti incidenti tecnologici avvenuti lungo le reti ferroviarie sono quelli del 1981 a San Luis Potosi (Messico) –quando il deragliamenti in un'area urbana e la successiva rottura di una ferrocisterna che trasportava 100 tonnellate di cloro determinò il formarsi di una nube tossica che provocò 20 morti– e del 1959 a Georgia (U.S.A.), con il deragliamenti e la rottura di una ferrocisterna che trasportava 18 tonnellate di GPL, provocò un'esplosione in un'area da picnic, con 23 morti. E non mancano neppure esempi di disastri causati dal trasporto navale come quello avvenuto nel 1979 a Bantry Bay, in Irlanda, dove una petroliera francese prese fuoco durante le operazioni di scarico, provocando l'esplosione di un terminal di petrolio che causò 50 morti.

Strade e ferrovie non costituiscono gli unici bersagli degli eventi calamitosi. Rilevanti, anche se in molti casi meno documentati, sono anche i danni alle infrastrutture portuali e ai canali navigabili, in particolare a seguito di eventi sismici. Non a caso i numerosi danni alle infrastrutture portuali conseguenti ai terremoti di Kobe nel 1995, di Tokachi-Oki in Giappone nel 2003 e di Lefkada in Grecia nel 1999 (Papathanassiou et al. 2005) hanno condotto alla messa a punto di raccomandazioni tecniche e di linee guida per la sicurezza sismica dei porti. Altri bersagli rilevanti dei terremoti sono gli aeroporti, non tanto con riferimento alle strutture

Le alluvioni possono provocare danni fisici alle reti viarie o ridurne la funzionalità, a causa della presenza di acqua, fango e detriti.





Nelle aree urbane, in particolare nei centri storici, le reti viarie sono quasi sempre interessate da ostruzioni dovute ai crolli, parziali o totali, dei manufatti edilizi.

principali, quasi sempre realizzate con elevati standard di sicurezza, quanto alle piste o ad altri impianti sensibili come le torri di controllo o i serbatoi di carburante. Anche altri fenomeni naturali hanno interessato la mobilità aerea: basti ricordare le conseguenze dell'eruzione del 1944, che provocò danni e rallentamenti alle forze aeree anglo americane impegnate nell'avanzata verso Roma o, più di recente, la chiusura di importanti scali aerei siciliani in conseguenza delle eruzioni dell'Etna nel 2001 e nel 2007. Come già accennato, anche in assenza di danni fisici rilevanti, possono verificarsi perdite di funzionalità delle reti stradali, con conseguente riduzione dell'accessibilità verso alcune aree che possono, a loro volta, determinare ritardi nelle operazioni di soccorso e significative disfunzioni nella gestione dell'emergenza. L'uragano Katrina ha mostrato, ad esempio, come anche per le alluvioni il problema centrale sia l'evacuazione della popolazione sia nella fase di allerta, prima che si verifichi il fenomeno, sia nella prima fase post evento quando le reti per la mobilità risultano gravemente danneggiate o impraticabili o laddove, come a New Orleans, è presente un considerevole numero di persone prive di

L'uragano Katrina e i numerosi eventi calamitosi conseguenti, dall'alluvione agli incidenti tecnologici, forniscono una delle più complete casistiche dei possibili danni alle infrastrutture viarie dovuti a fenomeni alluvionali.



mezzi di spostamento privati (Litman 2006). Nel caso di New Orleans, infatti, il piano di evacuazione era basato essenzialmente sul trasporto veicolare privato, con scarsa organizzazione e ottimizzazione del trasporto pubblico sia veicolare che su ferro. Anche nel caso di terremoti la mancanza di accessibilità determina guasti e disfunzioni rilevanti, soprattutto nel caso di eventi che impattano grandi centri urbani, come nel caso del terremoto del 1980 a Napoli (Galderisi e Ceudech 2005).

I danni fisici e funzionali subiti dalle reti della mobilità hanno evidenti ripercussioni e conseguenze socioeconomiche di medio e lungo periodo e coinvolgono sia l'interruzione dei flussi di traffico di utenti negli spostamenti casa-lavoro che il traffico di merci da e per la località colpita. Inoltre, nel caso in cui le infrastrutture a rete colleghino località distanti attraversando l'area colpita dall'evento le ripercussioni del disastro si riverberano anche a notevoli distanze sotto forma di impatti socio-economici (danni sistemici). Tali conseguenze sono state largamente evidenziate per alcuni disastri: a Kobe i danni alle attrezzature portuali, dovuti principalmente a fenomeni di liquefazione del suolo, ebbero ripercussioni significative sul commercio sia nazionale che internazionale (Kajitani et al. 2000). Anche l'alluvione del Midwest nel 1993 ha messo in luce l'entità dei danni economici conseguenti al blocco delle attività portuali (Tierney et al. 1996): 5.000 navi da trasporto fluviale furono colpite e i costi dei ritardi nel traffico di merci fu stimato in milioni di dollari al giorno. Un dettagliato studio sugli impatti economici del terremoto di Northridge (Tierney 1997) ha dimostrato la rilevanza dei danni di medio e lungo periodo alle attività economiche e il ruolo determinante connesso all'interruzione delle reti di trasporto (Gordon et al. 1998).

Analizzare la vulnerabilità delle reti: approcci e metodi

Metodi e tecniche per l'analisi di vulnerabilità delle reti per la mobilità sono stati sviluppati con prevalente riferimento agli





Numerosi sono gli impatti sulle reti per la mobilità causati dal verificarsi di eventi vulcanici: dai danni fisici e funzionali alle reti viarie e ferroviarie, al blocco delle linee aeree.

eventi sismici: come è noto, infatti, è proprio in riferimento a tale tipologia di eventi che gli studi sulla vulnerabilità, pur se focalizzandosi sulla vulnerabilità fisica degli elementi esposti, hanno avuto il maggiore impulso.

Anche in sede europea, gran parte dei progetti di ricerca che hanno specificamente posto l'accento sul tema della vulnerabilità delle reti (Risk-UE, LessLoss) sono stati incentrati su eventi sismici. Tuttavia, a partire dalla fine gli anni Novanta si è assistito ad un progressivo ampliamento del campo di attenzione: non solo in relazione alla tipologia di eventi calamitosi presi in esame ma anche in riferimento agli aspetti di vulnerabilità considerati. Più specificamente, per quanto riguarda il primo dei due aspetti menzionati, si sottolinea anzitutto che già alla metà degli anni Novanta in Australia, USA e Nuova Zelanda si cominciano ad estendere le metodologie utilizzate per analizzare la vulnerabilità ad eventi sismici delle *lifelines* ad altri fattori di pericolosità, quali tempeste di vento, alluvioni, tsunami.

In ambito europeo, tra i primi progetti che propongono un approccio multi-hazard, è possibile menzionare il progetto Espon –che pur affrontando il tema dell'esposizione e della vulnerabilità delle reti per la mobilità non definisce però specifici indicatori– e il progetto Armonia che, basandosi su una sistematizzazione delle conoscenze già disponibili in letteratura, individua alcuni indicatori di vulnerabilità sia a scala regionale che locale, con riferimento alla vulnerabilità fisica delle infrastrutture e al ruolo che queste rivestono

nella capacità del territorio e delle collettività insediate di fronteggiare un evento calamitoso (*coping capacity*) (Galderisi e Menoni 2007).

Inoltre, anche nell'ambito di approcci focalizzati su un unico fattore di pericolosità, è sempre più diffusa la considerazione degli impatti provocati dalle possibili catene di eventi calamitosi che possono generarsi a partire da un evento innescante. Un interessante studio sulla vulnerabilità ad eventi sismici dei sistemi di trasporto nell'area centrale degli Stati Uniti, nell'interrogarsi sulle tipologie di impatti che tali eventi possono indurre sulle infrastrutture, prende in esame non soltanto quelli imputabili direttamente al sisma ma anche quelli derivanti dall'insieme dei possibili fattori di pericolosità –naturali o antropici– che il sisma stesso può indurre (dai fenomeni franosi ai rilasci tossici) (Central U.S. Earthquake Consortium 2000).

In riferimento agli aspetti di vulnerabilità considerati, l'ampliamento dell'orizzonte di ricerca è in questo caso attribuibile a molteplici fattori. Il primo tra questi è indubbiamente connesso al più generale riconoscimento della rilevanza che le analisi di vulnerabilità rivestono nella conoscenza delle caratteristiche di rischio di un territorio: è ormai largamente riconosciuto nella letteratura internazionale che conoscere e misurare le caratteristiche di vulnerabilità di un territorio costituisce un passaggio chiave per una più efficace prevenzione e mitigazione dei rischi, sia naturali che tecnologici (Birkmann 2006). Il secondo fattore è connesso

all'ampliamento del concetto stesso di vulnerabilità, contraddistinto dal passaggio da un approccio incentrato sulla conoscenza delle caratteristiche di vulnerabilità dei singoli elementi esposti (manufatti, strade, ecc.) ad un approccio in chiave sistemica, prevalentemente incentrato sulle relazioni tra gli elementi. Pur nelle molteplici e diverse accezioni che a tutt'oggi in ambito scientifico vengono attribuite al concetto di vulnerabilità, si riconosce tuttavia il fatto che la misura della vulnerabilità non può essere ricondotta alla sola valutazione degli impatti diretti di un evento calamitoso. Infine, un ulteriore fattore è da individuarsi nella crescente centralità che le reti per la mobilità hanno assunto nell'attuale contesto socio-economico, caratterizzato dalla presenza di macroregioni economiche in cui le relazioni di interdipendenza sono determinate, più che dalla contiguità spaziale, dalla presenza di rilevanti infrastrutture di comunicazione, sia immateriali che materiali (Sassen 2001). Le reti per la mobilità costituiscono, dunque, il fondamentale supporto a tali connessioni e interdipendenze oltre ad essere esse stesse un sistema ad elevata interdipendenza. Esse possono essere interpretate, infatti,

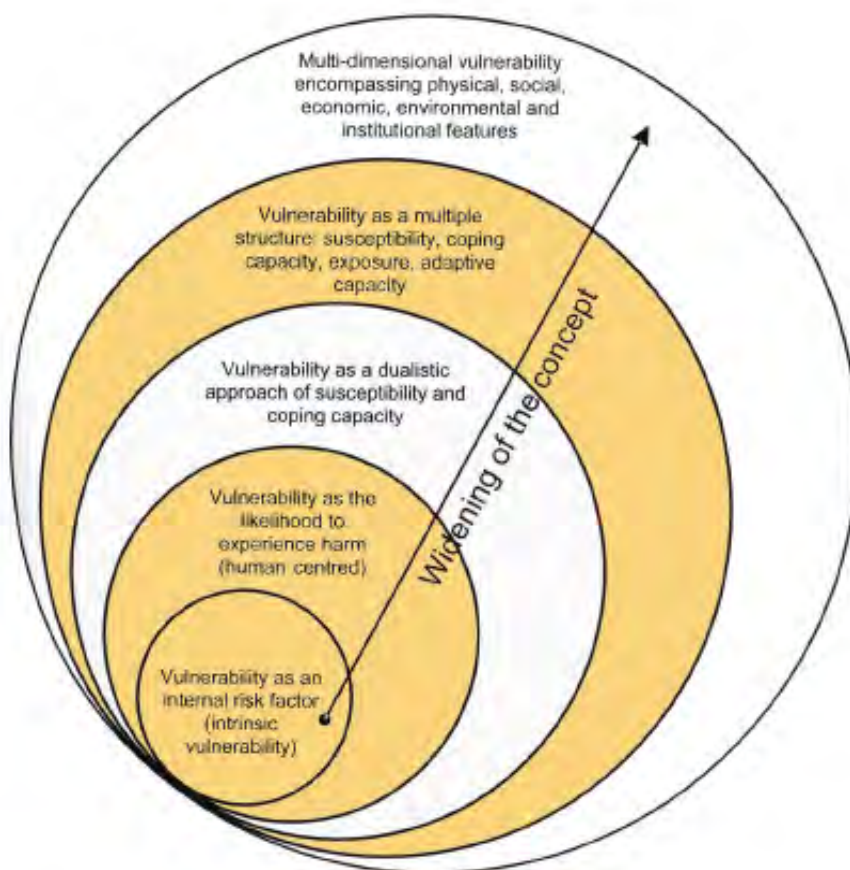
L'ampliamento del concetto di vulnerabilità ha inciso significativamente sui metodi di indagine della vulnerabilità delle reti, spostando il focus dai danni fisici a quelli funzionali e sistemici.

come una rete di reti (stradale, ferroviaria, marittima, ecc.), costituite ciascuna da elementi interconnessi, e caratterizzate da elevata dipendenza reciproca. In caso di evento calamitoso, quindi, il danneggiamento di un elemento della rete viaria può indurre, come già evidenziato, perdite di accessibilità verso altri elementi di altre reti: stazioni ferroviarie, aeroporti, con evidenti ripercussioni sulla distribuzione dei beni di prima necessità nell'immediato post-evento. Le reti per la mobilità costituiscono, inoltre, l'elemento chiave per gli scambi di persone, beni, merci sia all'interno di un dato contesto territoriale che tra questo e l'esterno. È dunque chiaro che l'impatto di un evento calamitoso su elementi della rete per la mobilità a scala locale (stazioni ferroviarie, aeroporti, porti, assi autostradali, ecc.) può avere ripercussioni di estrema rilevanza anche a scala globale, in ragione del grado di "centralità" del contesto colpito in ambito sovralocale.

Tali considerazioni evidenziano la complessa dimensione spaziale della vulnerabilità: come enfatizzato nel progetto europeo Scenario che, attraverso scenari quali-quantitativi di eventi, impatti e danni, esplora la dimensione "sistemica"

della vulnerabilità, spesso trascurata nelle tradizionali analisi di rischio, in ragione della sua difficile quantificazione e modellazione, e riferibile alle interdipendenze tra elementi appartenenti al medesimo sistema territoriale o a sistemi territoriali non necessariamente contigui.

L'introduzione del concetto di vulnerabilità "sistemica" è stato dunque centrale per l'avanzamento delle analisi di vulnerabilità delle reti: il riconoscimento delle interdipendenze tra le reti, e tra queste e i sistemi territoriali in cui esse risultano inserite, ha condotto a spostare il campo di analisi su concetti e temi diversi dalla vulnerabilità fisica. Grande attenzione viene oggi posta sia alle interdipendenze tra le reti per la mobilità e l'insieme delle altre infrastrutture a rete (elettricità, gas, ecc.) che, soprattutto nei contesti urbani, tra le reti e il tessuto urbano nel suo complesso. L'ampliamento del concetto di vulnerabilità ha fatto emergere nuove categorie di indagine e, di conseguenza, nuovi metodi: accanto alle più tradizionali analisi



Depends on	Water Supply	Gas Supply	Sewerage	Storm Water	Mains Electricity	Standby Electricity	VHF Radio	Telephones	Roads	Rail	Air transport	Fuel Supply	Fire Fighting	Air-conditioning	Total Importance
Water Supply	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3	2	6
Gas Supply	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
Sewerage	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
Storm Water	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
Mains Electricity	2	1	2	2	*	*	2	3	*	1	3	2	*	3	21
Standby Electricity	3	1	3	3	*	*	1	3	*	*	3	2	*	2	21
VHF Radio	3	3	3	2	3	*	*	2	2	2	3	*	3	*	26
Telephones	2	1	1	*	1	1	2	*	*	1	1	1	2	*	13
Roads	2	2	2	2	3	2	1	2	*	2	3	2	3	1	27
Rail	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
Air Transport	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
Fuel Supply	3	1	1	1	*	3	1	2	3	2	3	*	3	*	23
Fire Fighting	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2	1	*	*	3
Air-conditioning	*	*	*	*	2	2	*	3	*	*	2	*	*	*	9
Equipment	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	40
Total Dependence	18	12	16	12	12	11	10	18	8	11	23	10	17	11	
Priority Factor	24	12	16	12	33	32	36	31	35	11	23	33	20	20	

Note: 3 = High Dependence
 2 = Moderate Dependence
 1 = Low Dependence
 * = No Dependence

Il riconoscimento delle interdipendenze tra le molteplici infrastrutture a rete ha condotto a focalizzare l'attenzione sui molteplici effetti a cascata che l'impatto di un evento calamitoso su un singolo elemento di una rete può innescare.

connesse alla vulnerabilità fisica dei singoli elementi delle diverse reti, le indagini sono oggi prevalentemente incentrate sulla lettura e modellazione delle interdipendenze e degli effetti a cascata sia tra elementi delle reti della mobilità o, più in generale, delle infrastrutture a rete (Moselhi et al. 2005; Paton e Johnston 2006; O'Rourke 2007; Tang e Wen 2009), che tra le reti per la mobilità e il contesto urbano da esse attraversato (Goretti e Sarli 2006). In molti casi, infatti, la ridotta funzionalità delle reti nell'immediato post evento è attribuibile più a danni indiretti (crollo di manufatti lungo le strade e conseguente ostruzione) che a danneggiamenti diretti della rete stessa (Hazus 1997). Inoltre, il danneggiamento delle reti, oltre a costituire un danno in sé, può determinare perdite di accessibilità ad altre attrezzature strategiche in fase di emergenza (ospedali, caserme, ecc) o l'isolamento di un dato contesto urbano. Il forte accento posto sull'analisi delle interdipendenze all'interno dei sistemi a rete e tra questi e i contesti territoriali, ha assegnato grande rilevanza nell'analisi della vulnerabilità delle reti al concetto di ridondanza, intesa come disponibilità di elementi o sistemi sostitutivi attivabili in caso di perdita di alcuni elementi a seguito di eventi calamitosi (Berdica 2002; Bruneau et al. 2003). È evidente, infatti, che in caso di

danneggiamento di un elemento della rete viaria che consente l'accesso a rilevanti attrezzature di emergenza può essere cruciale la disponibilità di connessioni alternative o, in altre parole, la sostituibilità dell'elemento. In questo caso, infatti, pur a fronte di un danno diretto ad un singolo elemento, si azzerà l'insieme dei danni conseguenti quali, ad esempio, la potenziale perdita di vite umane dovuta alla mancata accessibilità alle attrezzature ospedaliere.

Ancora, va evidenziato che mentre il concetto di ridondanza può essere agevolmente applicato alle reti viarie ed è certamente valido in caso di eventi calamitosi localizzati, esso diventa meno efficace quando si fa riferimento a nodi rilevanti di una rete (come l'aeroporto o il porto) o quando ci si riferisce ad eventi calamitosi diffusi che potrebbero, evidentemente, indurre danni a numerosi elementi della rete, riducendo l'importanza delle alternative.

Infine, altri rilevanti concetti di matrice trasportistica che sempre più diffusamente vengono utilizzati per esaminare la vulnerabilità delle reti, in particolare di quelle per la mobilità, ad eventi calamitosi, sono quelli di

"serviceability" e "reliability" (Berdica 2002, Jenelius 2009). Più specificamente, se la vulnerabilità di un elemento o del sistema a rete nel suo complesso indica la propensione al danneggiamento dell'elemento o del sistema, nel caso delle reti per la mobilità tale danneggiamento va commisurato alla perdita di utilizzabilità ("serviceability") di alcuni elementi o del sistema nel suo complesso in un dato arco temporale, che possono dipendere anche da ostruzioni di elementi della rete che, pur non caratterizzandosi come danni in senso stretto, ne compromettono tuttavia l'utilizzo.

Analogamente, il concetto di "reliability" chiama in causa l'affidabilità, ovvero il regolare funzionamento della rete in un dato arco temporale, che può risultare compromesso a seguito di un evento calamitoso anche in assenza di danni fisici alla rete a causa, ad esempio, di fenomeni di congestione che si generano a seguito dell'evento stesso e che possono dipendere da una molteplicità di fattori: dalle caratteristiche della rete alla maggiore o minore intensità d'uso delle aree attraversate o, ancora, alla tipologia delle attrezzature servite dalla rete stessa.

Infine, la crescente rilevanza assunta nel campo dei disastri dal concetto di resilienza sembra oggi dischiudere nuovi orizzonti di ricerca. Pur nella molteplicità delle possibili



Il Comune di Siano, nella Regione Campania, fu severamente colpito dalle colate di fango che, nel maggio del 1998, colpirono duramente un vasto territorio, travolgendo gli insediamenti e provocando 160 vittime.

accezioni del termine resilienza, in funzione dei campi disciplinari in cui il termine viene impiegato oltre che della costante evoluzione del concetto dagli anni Settanta ad oggi, il termine viene generalmente utilizzato per indicare la capacità di un sistema territoriale o di una collettività esposta ad un determinato fattore di pericolo, di reagire al cambiamento indotto dall'evento, resistendovi o modificando le proprie caratteristiche, pur conservando un livello accettabile di funzionamento (UN/ISDR 2004).

Da quanto affermato, appare chiaro che la resistenza delle infrastrutture per la mobilità, o il loro più o meno rapido recupero alla funzionalità nella fase post evento, incidono o possono incidere in misura significativa sulla capacità complessiva di una collettività di fronteggiare un evento calamitoso (O'Rourke 2007).

In particolare, alcuni studiosi hanno proposto approcci quantitativi alla valutazione della resilienza dei sistemi infrastrutturali, basati essenzialmente sulla perdita di qualità/funzionalità di tali sistemi e sul tempo atteso di ripristino (Bruneau et al. 2003).

Vulnerabilità delle reti e sicurezza del territorio: il caso Siano in Campania

In riferimento alle considerazioni precedentemente avanzate sulla vulnerabilità delle reti ai rischi naturali e antropici e ai metodi di analisi più diffusi si intende qui evidenziare, attraverso uno specifico caso-studio, come le tradizionali analisi di rischio, generalmente incentrate su singoli eventi calamitosi e poco attente alle sinergie tra diverse tipologie di eventi e ancor meno alle complesse catene di impatti e danni che tali sinergie possono innescare, possano condurre in alcuni casi ad investimenti di potenziamento o adeguamento delle reti per la mobilità che, finalizzati nelle intenzioni iniziali ad accrescere la sicurezza del territorio, hanno invece quale esito finale un incremento delle

condizioni di vulnerabilità. Si fa riferimento, in particolare, al caso del Comune di Siano nella Regione Campania: un'area periodicamente interessata da eventi idrogeologici significativi, classificata come zona sismica 2 dall'Ordinanza 3274/2003 e inclusa nella zona gialla del Piano Nazionale di Emergenza Vesuvio.

Più specificamente, il comune di Siano ricade, insieme a Sarno, Bracigliano ed Episcopo, nell'area più severamente colpita dagli eventi calamitosi del maggio 1998: colate di fango e detriti che si innescarono su diversi versanti collinari, travolgendo gli insediamenti e provocando 160 vittime.

A seguito di tali eventi, sono stati predisposti sistemi di allertamento connessi al monitoraggio delle precipitazioni e al raggiungimento di determinate soglie pluviometriche e sono stati messi in campo numerosi interventi volti alla prevenzione di eventi futuri e alla mitigazione di eventuali impatti. Tali interventi possono essere distinti in quattro gruppi: le opere di difesa lungo i versanti; gli interventi sul patrimonio edilizio; sulle attrezzature danneggiate; sulle infrastrutture e, in particolare, sulle vie di fuga. In riferimento a tale ultimo gruppo di interventi, proprio a Siano è stato realizzato un asse, denominato via di fuga Siano-Castel San Giorgio, per favorire l'esodo dal centro abitato di Siano, evitando l'attraversamento dell'abitato di Castel San Giorgio. La localizzazione di tale asse, che costituisce l'adeguamento di un preesistente tracciato, è del tutto corretta se si considera il rischio connesso ad eventuali future colate di fango che potrebbero ingenerarsi lungo i versanti non coinvolti negli eventi del 1998: l'asse non rientra, infatti, nell'attuale perimetrazione della "zona rossa" ovvero nell'area a più elevata pericolosità individuata dall'Ordinanza 4816 del Commissariato di Governo per l'emergenza idrogeologica in Campania. A poca distanza da tale asse è però localizzato un impianto di stoccaggio, imbottigliamento e miscelazione di GPL che, per quantità e qualità dei materiali trattati, è classificato dalla normativa vigente (art.8, D.Lgs. 334/99) come impianto a Rischio di Incidente Rilevante (RIR). Tale



A seguito degli eventi calamitosi che nel 1998 colpirono l'area di Siano sono stati realizzati numerosi interventi di prevenzione e mitigazione: dalle opere di difesa lungo i versanti al potenziamento delle vie di fuga.

impianto, che si estende per circa 6.690 mq nel comune di Siano interessando anche una limitata porzione del Comune di Castel San Giorgio, è localizzato alla base di uno dei versanti lungo i quali è ipotizzabile l'innescò di fenomeni di colata, rientra nella perimetrazione della "zona rossa" e, più specificamente, nel settore A nel quale la menzionata Ordinanza, date le caratteristiche di elevata pericolosità, fissa severe norme in materia di Protezione Civile e rigide limitazioni all'uso antropico. Attualmente, il Comune di Siano è incluso nel Piano di Emergenza Interprovinciale –adottato con Ordinanza 2586 del 4 novembre 2002– che fissa le procedure per l'avvertimento, l'evacuazione e il ricovero in sicurezza della popolazione nelle aree a rischio e si è dotato di un Piano Comunale per l'Emergenza Frane, aggiornato al 2007. Inoltre, nel giugno del 2006, è stato predisposto dalla Prefettura di Salerno il Piano di Emergenza Esterno per l'impianto RIR.

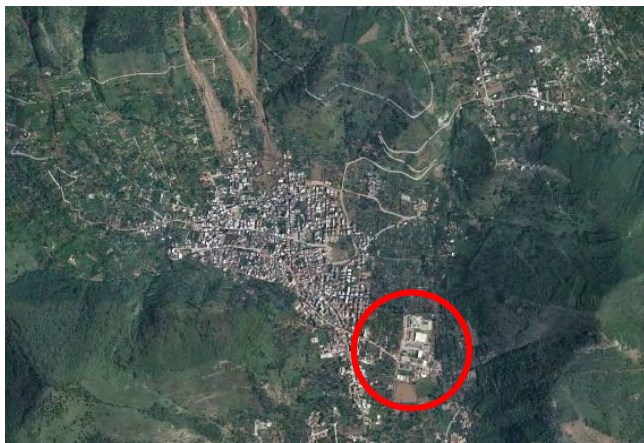
Va però sottolineato che né nel Piano Interprovinciale né in quello comunale, entrambi relativi all'emergenza frane, si fa cenno all'innescò di potenziali incidenti tecnologici in conseguenza di colate e che, nella definizione degli scenari incidentali relativi all'impianto, nel rispetto degli attuali obblighi normativi, non si fa menzione delle colate quali eventuali fattori di innescò di eventi incidentali.

È proprio su un'area del Comune di Siano che comprende uno dei versanti potenzialmente interessati da colate rapide, l'impianto RIR e il territorio ad esso circostante che,

nell'ambito del Progetto di Interesse Nazionale 2006-2008 dal titolo "Sistemi di allarme precoce: aspetti tecnici, urbanistici e di comunicazione", è stato messo a punto uno scenario completo di eventi, impatti e danni.

Quest'ultimo approfondisce, in particolare, le possibili concatenazioni tra eventi calamitosi di matrice naturale (le colate di fango) ed eventi di matrice antropica (incidente rilevante causato dall'impatto della colata sull'impianto) e le conseguenze di tali eventi sull'area territoriale in esame⁴. Sebbene si possa ritenere, infatti, che le concatenazioni di eventi naturali e tecnologici abbiano una ridotta probabilità di accadimento, numerosi sono gli studi che evidenziano la costante crescita negli ultimi decenni del numero e dell'intensità di eventi concatenati.

In riferimento al caso in esame, le tecniche di scenario sono state utilizzate al fine di cogliere il carattere dinamico, la complessa trama di relazioni tra i danni subiti da alcuni elementi e l'innescò di possibili ulteriori eventi calamitosi, le influenze reciproche tra danni fisici e danni funzionali, ecc. Molteplici sono, tuttavia, le difficoltà connesse alla predisposizione di scenari completi, specie nel caso di concatenazioni tra eventi naturali e tecnologici: non solo infatti la descrizione delle complesse catene di eventi, impatti e danni richiede competenze disciplinari eterogenee ma la limitata casistica di riferimento cui riferire le necessarie analisi retrospettive, accresce i possibili punti di incertezza nella definizione delle numerose ed eterogenee aliquote di



L'area di studio, all'interno del Comune di Siano, comprende uno dei versanti lungo i quali potrebbero innescarsi fenomeni di colate rapide di fango. Alla base di tale versante è localizzato un impianto GPL che, per tipologia e quantità di sostanze trattate, è classificato dalle norme vigenti come impianto a Rischio di Incidente Rilevante.

danno. Ai fini della prefigurazione di scenario è stato definito, anzitutto, uno specifico evento di riferimento sulla base di approfondite indagini geoambientali che hanno consentito di determinare, per il versante in esame, i potenziali punti di innesco delle colate.

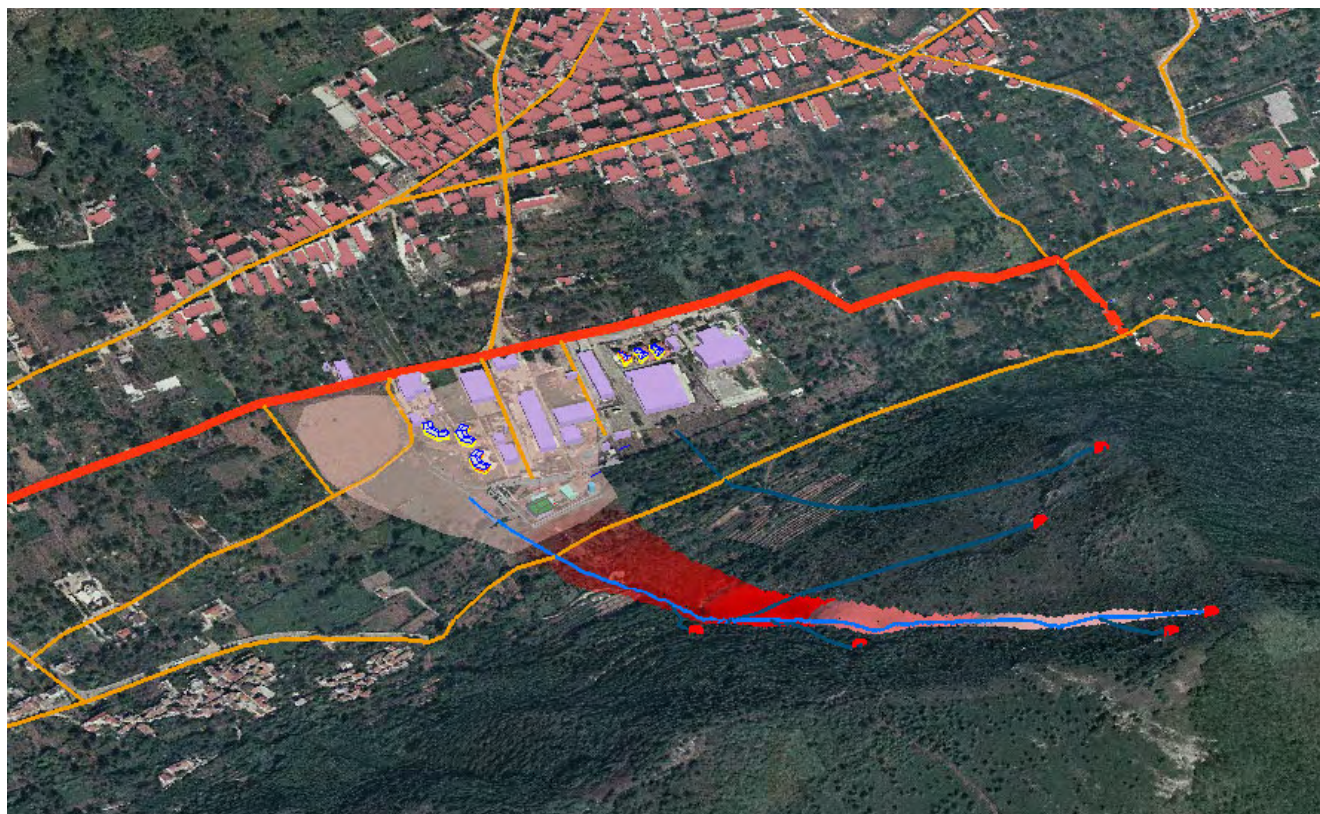
Più specificamente, per il versante in esame, sono state individuate diverse aree di possibile innesco di colate di fango e ipotizzate, anche in ragione delle caratteristiche del versante, almeno due tipologie di colate: una prima di tipo planare e una seconda che potrebbe incanalarsi proprio nell'impluvio naturale che sovrasta l'impianto RIR. Individuati

i potenziali punti di innesco della colata, si è proceduto alla definizione dello scenario completo, con riferimento ad un arco temporale che va dall'innescio dell'evento primario all'immediato post-evento.

L'elevata dipendenza dei fenomeni in esame dalle caratteristiche geologiche e morfologiche dei versanti richiede inoltre di affiancare, alle indagini geoambientali per la determinazione dei punti di innesco delle colate e la caratterizzazione e tipizzazione dei versanti, una modellazione tridimensionale del sito che consentisse una più efficace comprensione dell'evoluzione dinamica del fenomeno in

L'impianto RIR prospetta su un asse viario, denominato via di fuga Siano-Castel San Giorgio, realizzato a seguito degli eventi del 1998 per favorire l'esodo dal Comune di Siano in caso di eventi calamitosi, evitando l'attraversamento dei centri abitati.



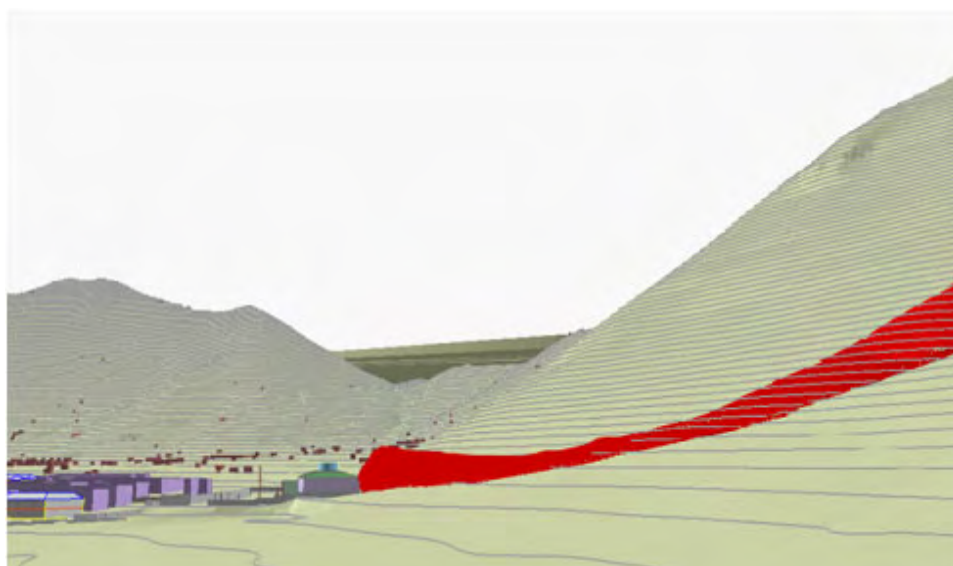


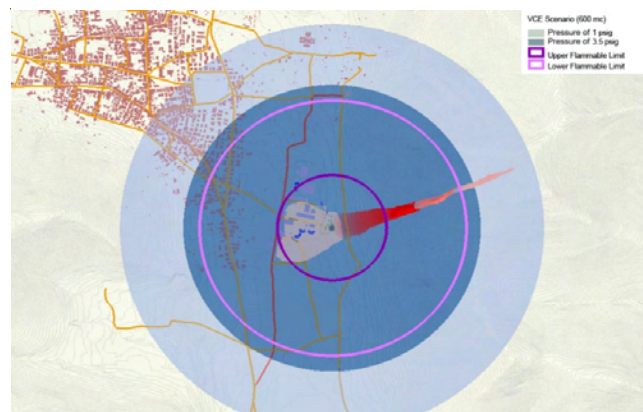
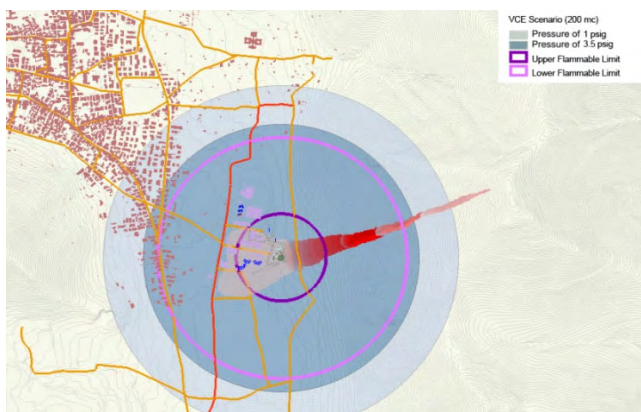
In riferimento all'area di studio di Siano è stato messo a punto uno scenario completo di eventi, impatti e danni che, a partire dall'individuazione dei potenziali punti di innesco delle colate di fango, perviene alla determinazione dei danni all'impianto RIR e alle conseguenze di un eventuale incidente tecnologico sulle aree circostanti.

ragione delle peculiarità locali (scarpate, valloni, elementi antropici, ecc.). Pertanto, lo scenario di evento relativo al caso studio è stato sviluppato e implementato in ambiente GIS, la cui struttura è stata predisposta per lo sviluppo e l'implementazione dello scenario completo, comprendente cioè i diversi impatti e danni conseguenti all'evento stesso. A tal fine, sono stati realizzati data-base informativi relativi

alle basi cartografiche, al suolo, all'insediamento, alla popolazione e alle infrastrutture. Da questi data-base è stato generato il modello tridimensionale sia del territorio che dell'insediamento. Tale modello include anche le opere infrastrutturali di prevenzione già predisposte lungo il versante in esame a seguito degli eventi del maggio 1998 (canalizzazioni e vasche di accumulo). Definito l'evento di

riferimento, la sua evoluzione dinamica e l'areale di impatto, sono stati individuati i bersagli territoriali coinvolti e si è proceduto alla prefigurazione degli impatti e dei danni che l'evento potrebbe generare nell'arco temporale considerato. Lo scenario evidenzia infatti, in ragione dei bersagli esposti e delle loro caratteristiche di vulnerabilità, i possibili danni fisici (ai manufatti e alle infrastrutture), i conseguenti danni alla popolazione, i possibili danni funzionali e sistemici (perdita di accessibilità alle attrezzature per l'emergenza, perdita di posti di





I possibili scenari incidentali conseguenti all'impatto della colata di fango sull'impianto RIR di Siano coinvolgerebbero un vasto areale in cui sono localizzati non solo edifici residenziali ed altri impianti produttivi ma anche la via di fuga Siano-Castel San Giorgio, con gravi conseguenze per la gestione dell'emergenza in caso di evento.

lavoro conseguenti al danneggiamento di impianti produttivi, ecc.). Inoltre, essendo presente tra gli elementi esposti l'impianto RIR, che costituisce una potenziale fonte di innesco di incidente tecnologico, sono stati prefigurati non soltanto i danni che esso potrebbe subire ma anche, con l'aiuto di competenze esperte, i possibili scenari incidentali che, a partire dai danni fisici alla struttura, potrebbero ingenerarsi. In particolare, a seguito dei danni fisici alla struttura dell'impianto potrebbe verificarsi l'immediato rilascio del GPL (in quantità variabile dai 200 ai 600 mc in ragione del numero di serbatoi coinvolti) stoccato nei quattro serbatoi tumulati presenti nella parte alta dell'impianto, proprio ai piedi del versante collinare.

Tale rilascio può indurre, per le peculiari condizioni morfologiche del sito, una concentrazione del gas fino al raggiungimento della soglia di infiammabilità: raggiunta tale soglia, può essere sufficiente un qualsivoglia fattore di innesco per provocare un'esplosione che coinvolgerebbe una vasta area intorno all'impianto in cui sono presenti non solo edifici residenziali e altri impianti produttivi ma, soprattutto, l'attuale unica via di fuga del territorio comunale. Ciò comporterebbe, non solo la temporanea inutilizzabilità dell'asse ma, elemento forse più grave, trattandosi di un evento non previsto nell'attuale pianificazione di emergenza, esso potrebbe accrescere significativamente i danni derivanti dall'evento naturale innescante –le colate di fango– investendo flussi di persone e mezzi di emergenza in transito lungo l'asse stesso. Come evidenziato, infatti, le colate rappresentano un esempio tipico di evento *multi-site*, che potrebbe innescarsi inizialmente lungo un versante e solo successivamente interessare il versante che sovrasta l'impianto RIR.

Ciò che si intende dunque sottolineare è che –essendo l'improbabilità di complesse catene di eventi, impatti e danni solo apparente, come emerge anche dalla casistica riportata– al fine di predisporre adeguate misure di prevenzione e mitigazione dei rischi naturali e antropici e di garantire una

più efficace gestione dell'emergenza, può risultare di grande utilità affiancare alle più tradizionali analisi di rischio, scenari completi di eventi, impatti e danni. Essi costituiscono, infatti, un indispensabile supporto alla comprensione e alla comunicazione delle evoluzioni dinamiche e delle possibili sinergie tra diversi fattori di pericolosità, oltre che delle articolate catene di conseguenze che i singoli fattori, o il loro effetto sinergico, possono indurre in un dato arco temporale e in un dato areale spaziale.

Tali scenari, possono essere espressi attraverso dati sia di tipo quantitativo che qualitativo: questa seconda tipologia di informazioni, in genere connessa a problemi di carattere funzionale non sempre facilmente quantificabili in termini numerici (ad esempio i fenomeni di congestione lungo un asse viario) non va però sottovalutata: la descrizione dei problemi consente in molti casi di evitare "crisi" soprattutto nella fase della gestione dell'emergenza connesse, nella maggior parte dei casi, al verificarsi di eventi inattesi.

Note

- ¹ Pur nell'ambito di una riflessione congiunta, la stesura del primo, terzo e quarto paragrafo è stata curata da Adriana Galderisi, quella del secondo paragrafo da Andrea Ceudech.
- ² Il danno è stato stimato in circa 100 milioni di dollari.
- ³ Nel tamponamento fu coinvolta un'autocisterna: un incendio provocò un BLEVE dal serbatoio della motrice seguito da un firewall mentre dal serbatoio squarciato del rimorchio fuoriuscì un *jet fire* di circa 10 m.
- ⁴ Il disastro fu causato dall'impatto tra un'autocisterna e un fabbricato. L'urto determinò la rottura di una valvola da cui fuoriuscì GPL liquido che vaporizzò all'interno del fabbricato per poi esplodere.
- ¹ Lo scenario è stato messo a punto da un gruppo multidisciplinare costituito, oltre che dagli autori, dal prof. Franco Ortolani, per gli aspetti connessi alle colate di fango, e dal prof. Davide Manca, per lo scenario incidentale dell'impianto.

Riferimenti Bibliografici

- Berdica K. (2002) "An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done", *Transport Policy*, 9.
- Birkmann J. (2006) *Measuring Vulnerability to Natural Hazards. Towards Disaster Resilient Societies*, United Nation University Press.
- Bruneau M. et al. (2003) "A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities", <http://www.eng.buffalo.edu/~bruneau/EERI%202003%20Bruneau%20et%20al.pdf>.
- Central U.S. Earthquake Consortium (2000) *Earthquake Vulnerability of Transportation Systems in the Central United States*.
- Galderisi A., Ceudech A. (2005) "Il terremoto del 23 novembre 1980 a Napoli: la ricostruzione del danno funzionale nella prima settimana post-evento", in Lagomarsino S., Ugolini P. (a cura), *Rischio sismico, territorio e centri storici*, Atti del Convegno Nazionale 2004, Franco Angeli, Milano.
- Galderisi A., Menoni S. (2007) "Rischi naturali, Prevenzione e Piano", *Urbanistica* 134, 7-22.
- Gordon P., Richardson H. W., Davis B. (1998) "Transport-Related Impacts of the Northridge Earthquake", *Journal of Transportation and Statistics*.
- Goretti A., Sarli V. (2006) "Road Network and Damaged Buildings in Urban Areas: Short and Long-term Interaction", *Bulletin of Earthquake Engineering*, Springer, <http://www.springerlink.com/content/m4h6618213871r04/fulltext.pdf>
- HAZUS 99-SR2 (1997) *Technical Manual*, (Chapter 7 "Direct physical damage to lifelines transportation systems"), FEMA Distribution Center, Maryland.
- Jenelius E. (2009) "Road network vulnerability analysis of area-covering disruptions. A grid-based approach with case study", http://www.infra.kth.se/tla/projects/vulnerability/Jenelius_Area.pdf
- Kajitani Y., Tatano H., Okada N. (2000) Long-term Effects of the Hyogo Nanbu Earthquake on Economic Activities at the Port of Kobe: Time Series Analysis, in Proceedings of the EuroConference on Global Change and Catastrophe Risk Management: Earthquake Risks in Europe, <http://www.iiasa.ac.at/Research/RMS/july2000>.
- Litman T. (2006) Lessons from Katrina and Rita. What Major Disasters Can Teach Transportation Planners, <http://www.vtpi.org/katrina.pdf>.
- Moselhi O. et al. (2005) "Vulnerability Assessment of Civil Infrastructure Systems: A Network Approach", *1st CSCE Specialty Conference on Infrastructure Technologies, Management and Policy*, Toronto, Canada, <http://users.encs.concordia.ca/~hammad/infra/publications/CSCE2005-Vulnerability.pdf>
- O'Rourke T.D. (2007) "Critical infrastructure, interdependencies and resilience", http://www.caenz.com/info/RINZ/downloads/Bridge_Article.pdf.
- Papathanassiou G., Pavlides S., Ganas A. (2005) "The 2003 Lefkada earthquake: Field observations and preliminary microzonation map based on liquefaction potential index for the town of Lefkada", *Engineering Geology*, 82, 12– 31.
- Paton D., Johnston D. (2006) *Disaster Resilience. An integrated approach*, Charles C. Thomas Publisher, Ltd, Springfield, Illinois, USA
- Sassen S. (2001) "Le economie urbane e l'annullamento delle distanze", *Lotus International*, 110.
- Tang A., Wen A. (2009) "An intelligent simulation system for earthquake disaster assessment", *Computers & Geosciences*, Vol.35, Issue 5, 871-879.
- Tierney K. J. (1997) "Business Impacts of the Northridge Earthquake", *Journal of Contingencies and Crisis Management*, Vol. 5, N. 2 June.
- Tierney K.J., Nigg J.M., Dahlhamer J.M. (1996) "The Impact of the 1993 Midwest Floods: Business Vulnerability and Disruption in Des Moines", in Sylves R.T., Waugh W.L. Jr. (Eds) *Cities and Disaster: North American Studies in Emergency Management*, Charles C. Thomas, Springfield, pp.214-238.
- Tobin G.A. (1999) "Sustainability and community resilience: the holy grail of hazards planning?", *Environmental Hazards*, 1, 13-25.
- Tung P. T. (2004) Road vulnerability assessment for earthquake. A case study of Lalitpur, Kathmandu–Nepal, Master Thesis, Institute for Geo-information Science and Earth Observation, The Netherlands, http://www.itc.nl/library/Papers_2004/msc/upla/pho_thanh_tung.PDF.
- UN/ISDR (2004) Terminology: Basic terms of disaster risk reduction, <http://www.unisdr.org/eng/library>.
- Wyndham Partners Consulting (2005) *Hurricane Katrina 29th August 2005. Preliminary Damage Survey*, <http://www.weatherpredict.com/pdf-downloads/katrinaDamageSurvey.pdf>.

Referenze fotografiche

La foto di pag. 25 è tratta dal sito web <http://www.tgroseto.net>. Le foto di pag. 26 sono tratte dal sito <http://www.engeo.it>. Le foto a pag. 27 sono tratte da http://news.bbc.co.uk/2/low/in_pictures/7454599.stm, <http://guide.supereva.it/geologia/interventi>. La foto a pag. 28 in alto a sinistra è tratta dal sito <http://www.guardian.co.uk>, quella in basso a destra da <http://www.meteoviterbo.it>. Le immagini a pag. 29 in alto a sinistra sono tratte da <http://memoriastorica.wordpress.com> e in basso da <http://www.mississippiheritage.com/HurricaneKatrina.html>. La foto a pag. 30 è tratta dal sito web <http://www.warwingsart.com/12thAirForce/Vesuvius.html> ed è di F. Hudlow. L'immagine di pag. 31 è tratta da Birkmann 2006, la tabella di pag. 32 è tratta da Paton and Johnston 2006; le foto a pag. 33 sono tratte dai siti <http://www.wikimedia.org> e <http://www.commissario2994.it>. La foto a pag. 34 è tratta dal sito <http://www.commissario2994.it>. Le immagini e gli elaborati da pag. 35 a 37 sono degli autori.