

# Sicurezza e Resilienza delle Infrastrutture

---

RICERCA FINANZIATA DAL BANDO PRA 2017-18

## Monografia

P. Leandri, G. Caroti, A. Farina, D. C. Lo Presti, M. Losa, M. Lupi,  
A. Marradi, F. Morelli, A. Pratelli, W. Salvatore, N. Squeglia, Y. Pieracci

UNIVERSITÁ DI PISA – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E INDUSTRIALE

Largo Lucio Lazzarino, 2 - 56126 PISA

Pisa, 20/12/2019

## Sommario

1. Introduzione .....	4
2. L'infrastruttura critica del trasporto.....	5
3. Il concetto di resilienza .....	6
4. Disaster Life Cycle .....	10
5. Caratteristiche degli eventi eccezionali .....	12
6. Sostenibilità, vulnerabilità e resilienza .....	14
7. Resilienza e gestione del rischio.....	17
7.1. Obiettivi, scala temporale di riferimento .....	17
7.2. Eventi perturbatori .....	20
7.3. Elementi soggetti ad analisi .....	21
7.4. Fattori.....	22
8. Analisi degli approcci .....	26
8.1. Approcci legati al <i>Disaster Risk</i> .....	26
8.1.1. National Infrastructure Protection Plan e tools.....	26
8.1.2. INFRARISK .....	29
8.2. Approcci basati sul Climate Change.....	30
8.2.1. Climate Change Adaptation Strategy and Framework .....	31
8.2.2. Piano Nazionale di Adattamento Ai Cambiamenti Climatici (PNACC).....	32
8.3. Approcci basati sulla resilienza .....	38
8.3.1. Bruneau.....	38
8.3.2. System-of-System approach .....	39
8.3.3. National Infrastructure Plan (New Zeland) - 2014 .....	41
9. Metodo proposto .....	44
9.1. Definizione del contesto .....	46
9.1.1. Livello di analisi .....	46
9.1.2. Classificazione .....	46
9.1.2.1. Organisational resilience.....	46
9.1.2.1. Technical resilience .....	48

9.1.2.2. Analisi di propensione al rischio climatico.....	50
10. Conclusioni .....	51
11. Ringraziamenti.....	52
12. Bibliografia .....	53

# 1. Introduzione

---

Negli ultimi anni si sono manifestati eventi calamitosi che hanno causato collassi, completi o parziali nelle reti infrastrutturali in determinate aree. A fronteggiare tali calamità intervengono amministrazioni pubbliche, associazioni, organizzazioni e altre figure che, collaborando tra loro, mirano a ripristinare le prestazioni originarie del sistema.

In particolar modo le infrastrutture critiche, cioè quei sistemi legati ai servizi di comunicazioni, energia, sanità, tecnologia dell'informazione, trasporti e sistemi idrici [2013\_NIPP] [2011\_ Dipartimento degli Stati Uniti] che forniscono i servizi essenziali per l'economia, la sicurezza e la stabilità di una Nazione [2009\_NIAC] [2014\_NIP ], devono essere salvaguardate dai disastri. Il sistema di trasporto è essenziale per il benessere delle comunità, specialmente in condizioni avverse [2014\_NIP] in quanto fornisce la possibilità di evacuazione, delle operazioni di salvataggio e facilita il ripristino dei servizi per la comunità [2013\_Faturechi\_PhD], data la sua vasta interconnessione con tutte le altre infrastrutture critiche [TCRP\_Vol2].

Al fine di valutare le caratteristiche e potenzialità del territorio atte a fronteggiare la calamità, sono state introdotte misure, come sostenibilità, vulnerabilità e resilienza, ed approcci, come il Disaster risk, il Climate Change e l'approccio basato sulla resilienza. Data la recente introduzione di questi concetti, non vi sono presenti definizioni univoche, ma ogni autore li interpreta secondo il proprio know-how.

Il presente atto ha lo scopo di:

- Confrontare i concetti utilizzati nelle analisi di resilienza, individuando le caratteristiche comuni e differenti, tra le interpretazioni presenti in letteratura;
- Analizzare gli attuali approcci che mirano ad incrementare la resilienza di una infrastruttura legata al trasporto, in particolar modo nei confronti di eventi rari (es. alluvioni, frane, ecc...);
- Individuare i fattori e le azioni che influiscono sul ripristino delle performance del sistema;
- Elaborare un metodo di valutazione della resilienza di tipo oligarchico.

## 2. L'infrastruttura critica del trasporto

---

L'infrastruttura critica legata al trasporto riveste un ruolo chiave all'interno di una comunità, ed ha lo scopo di garantire la funzionalità dei collegamenti anche in condizioni di emergenza [2013\_Faturechi\_PhD], fornendo la possibilità di evacuazione, delle operazioni di salvataggio e facilita il ripristino dei servizi per la comunità [2013\_Faturechi\_PhD].

Le infrastrutture critiche sono altamente interconnesse e tale argomento può essere analizzato sotto vari punti di vista:

- Interdipendenza esterna: l'infrastruttura di trasporti è interconnessa con le altre infrastrutture critiche legate ad altri servizi fondamentali per la società, come la comunicazione, l'energia, la sanità, la tecnologia dell'informazione ed i sistemi idrici [2013\_NIPP] [2011\_Dipartimento degli Stati Uniti] (Fig. 1);
- Interdipendenza interna: i singoli assets che costituiscono il "sistema infrastruttura" sono interconnessi tra loro, per questo le infrastrutture possono essere schematizzate come SoS (System-of-System) [2016\_Cen Nan] [2016\_Liu]

L'elevato grado di interdipendenza (interna ed esterna), da un lato fornisce al sistema una maggiore tolleranza nei confronti di un evento perturbatore, dall'altro può dare luogo a fenomeni inaspettati dovuti alla combinazione di diversi comportamenti degli *assets* (collassi a catena) [2016\_CenNan] [2013\_Park].

Il comportamento delle infrastrutture critiche è legato all'interazione dei rischi che possono manifestarsi all'interno di una società; infatti, il [2017\_Global risk] evidenzia la dipendenza dagli eventi meteorologici estremi, dalle politiche di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, dalle crisi idriche e da molti altri rischi come conflitti e migrazione. Infine, anche la sovrapposizione di più eventi perturbatori contemporanei possono dare luogo a fenomeni risultanti imprevedibili [2014\_INFRARISK].

Lo studio delle precedenti interconnessioni, così come la conoscenza dei comportamenti correlati, possono fornire risultati utili per le valutazioni dei rischi, offrendo alternative di mitigazione del rischio. Tuttavia la modellizzazione dei fenomeni rappresenta una grande sfida e un settore di ricerca ancora da esplorare [Stergiopoulos].

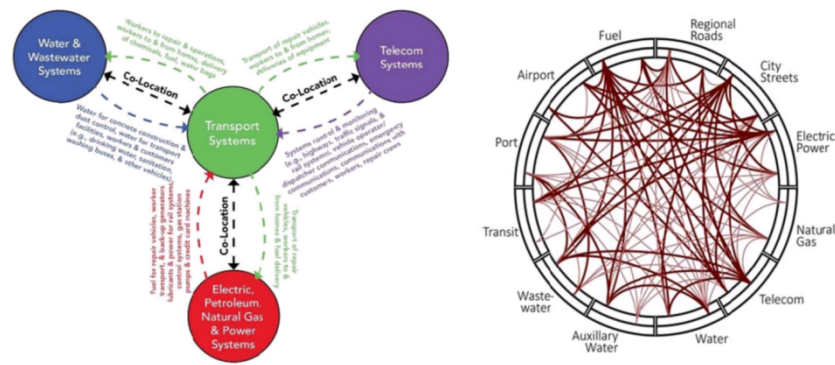


Fig. 1: Interdependencies of transport infrastructure [TCRP\_Vol2]

### 3. Il concetto di resilienza

Per comprendere il comportamento delle infrastrutture durante e dopo il verificarsi di un disastro, il quale può causare uno o più collassi interconnessi [2016\_Cen Nan], un'analisi basata sulla resilienza [Linkov] [2009\_NIAC] [2012\_Ouyang] può essere utilizzata come approccio di tipo dinamico [2016\_Cen Nan] [2014\_NIP].

In generale, la resilienza può essere vista in due modi diversi: (1) orientata all'output e (2) orientata al processo. Il primo modo considera la resilienza come un indice di output, atto a misurare una o più caratteristiche del sistema (ad esempio l'adattamento, il recupero delle prestazioni nel tempo, ecc.); il secondo la considera come un processo (o approccio), che mira ad aumentare la resilienza del sistema attraverso l'individuazione di azioni specifiche [2015\_NIST].

Il termine “resilienza” è stata introdotta per la prima volta da Holling nel contesto ecologico [1973\_Holling], il quale l’ha definita come segue:

*“Resilience implies the persistence of systems to external influences and their ability to absorb disturbance and adapt their dynamics”*

*(La resilienza implica la persistenza dei sistemi alle influenze esterne e la loro capacità di assorbire i disturbi e adattare le loro dinamiche).*

Il concetto, successivamente ampliato ai campi dell’ingegneria, psicologia, sociologia ed economia, ricopre un ruolo multidisciplinare, riguardante aspetti differenti ed interagenti tra loro allo stesso tempo. Secondo Chelleri [2012\_Chelleri] la resilienza di un territorio urbanizzato è influenzata dalle resilienze dei settori indicati in Fig. 2 (ecologia, sociologia, economia e infrastrutture).



Fig. 2: Resilienza di un territorio urbanizzato [2012\_Chelleri]

Per poter eseguire uno studio di tipo olistico è necessario analizzare a fondo le complesse interazioni tra i singoli sotto-sistemi, è indispensabile definire un contesto di applicazione del concetto, che si traduce nel rispondere alla domanda:

**“Resilience of what to what?”**,

Secondo [2001\_Carpenter] è necessario definire:

- Qual è il sistema oggetto dell’analisi;
- Quali sono i potenziali rischi.

Negli ultimi anni le ricerche legate al tema della resilienza hanno subito un incremento esponenziale, così come quelle riguardanti il settore specifico delle infrastrutture dei trasporti [2013\_Park]. Essendo un argomento abbastanza recente, la definizione di resilienza non risulta univocamente determinata [2009\_NIAC]. In letteratura sono presenti articoli in cui è stato trattato il significato e la definizione del termine

[2014\_Comes] [2015\_Agarwal], ma ogni autore ha definito la resilienza con varie sfumature e secondo la propria interpretazione e conoscenza [2014\_Hagelsteen].

In

Tabella 1 si riportano alcune definizioni ritenute significative per capirne i diversi punti di vista.

Come si può notare la maggior parte degli autori condivide che il concetto di resilienza di una infrastruttura è associato alle sue capacità di:

- **“Resistere”** (*Withstand*) ad una perturbazione;
- **“Ripristinare”** (*recovery*) le proprie prestazioni a seguito di danni o collassi.

Tabella 1: Definizioni di resilience in diversi campi di applicazione

Autori	Definition of “Resilience”
1973_Holling	‘Resilience implies the persistence of systems to external influences and their ability to absorb disturbance and adapt their dynamics’
1984_Pimm; 1994_Tilman and Downing	‘The ability of the system to resist disturbance and the rate at which it returns to equilibrium following disturbance’
1999_Mileti	‘Resilience is the ability of a locale to withstand an extreme natural event without suffering devastating losses, damage, diminished productivity, or quality of life and without a large amount of assistance from the outside community’
2002_Godschalk	‘Action taken to reduce or eliminate long-term risk to people and property from hazards and their effects’
2003_Bruneau	‘The ability of social units (e.g., organizations, communities) to mitigate hazards, contain the effects of disasters when they occur, and carry out recovery activities in ways that minimize social disruption and mitigate the effects of future earthquakes’
2005_Allenby and Fink	‘Resilience is the capability of a system to maintain its functions and structure in the face of internal and external change and to degrade gracefully when it must’
2007_Solomon et al	‘The ability of a social or ecological system to absorb disturbances while retaining the same basic structure and ways of functioning, the capacity for self-organisation, and the capacity to adapt to stress and change’
2009_UNISDR	‘The ability of a system, community, or society exposed to hazards to resist, absorb, accommodate to and recover from the effects of a hazard in a timely manner, including through the preservation and restoration of its essential basic structures and functions.’
2009_Seville	‘Resilience is the ability to survive a crisis and to thrive in a world of uncertainty’
2009_USDHS	‘Resilience is the ability of systems, infrastructures, government, business and citizenry to resist, absorb, and recover from or adapt to an adverse occurrence that may cause harm, destruction, or loss of national significance’
2010_Vugrin	‘Given the occurrence of a particular disruptive event (or set of events), the resilience of a system to that event (or events) is the ability to efficiently reduce both the magnitude and duration of the deviation from targeted system performance levels.’
2014_NIP	‘The concept of resilience is wider than natural disasters and covers the capacity of public, private and civic sectors to withstand disruption, absorb disturbance, act effectively in a crisis, adapt to changing conditions, including climate change, and grow over time.’
2011_Cabinet Office	‘Resilient system or organisation will be able to achieve its core objectives in the face of adversity through a combination of measures.’
2011_Manyena	‘Intrinsic capacity of a system, community or society predisposed to a shock or stress to bounce forward and adapt in order to survive by changing its non-essential attributes and rebuilding itself.’



2016_CenNan	“Resilience is the ability of the system to withstand a change or a disruptive event by reducing the initial negative impacts (absorptive capability), by adapting itself to them (adaptive capability) and by recovering from them (restorative capability)”.
-------------	--

Di seguito si riporta l'andamento delle *Measures of performance* (MOP) del sistema in funzione del tempo [2017\_CenNan]. Il grafico, introdotto per la prima volta da Bruneau et al. [2003\_Bruneau], è stato poi condiviso, sviluppato ed adottato dai successivi autori che hanno trattato il tema in questione.

Al verificarsi di un qualsiasi evento perturbatore ( $t=t_0$ ), inizialmente l'infrastruttura reagisce mantenendo inalterate le proprie prestazioni, fino al verificarsi del primo collasso (*failure*) ( $t=t_1$ ). Le performance iniziano a diminuire, fino a raggiungere il valore minimo al tempo  $t_2$ . Successivamente le capacità di recupero (*recovery*) del sistema tendono a ripristinare le performance originarie.

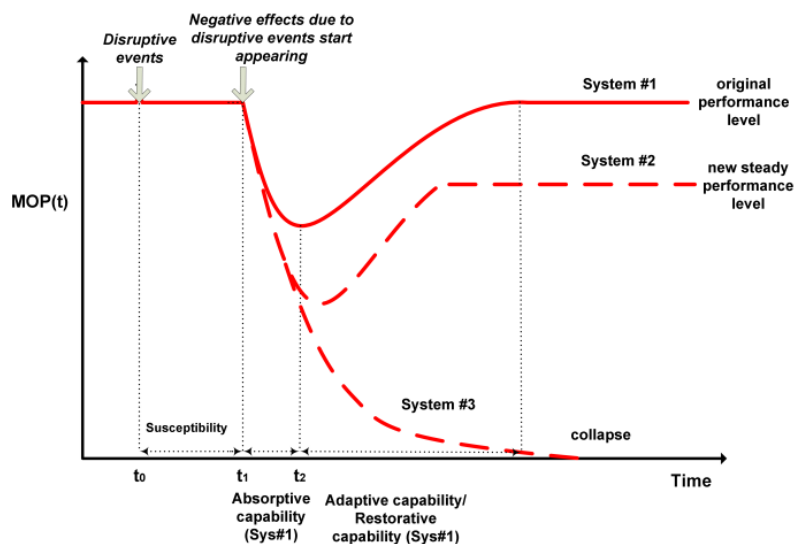


Fig. 3: [2017\_CenNan]

In Fig. 3 si possono notare tre curve, denominate rispettivamente “System #1”, “System #2” e “System #3”. La prima mostra un completo ripristino delle performance al livello posseduto prima della perturbazione, la seconda un ripristino parziale, mentre la terza mostra il collasso completo dell'infrastruttura.

Per le infrastrutture civili, o più in generale per le infrastrutture “critiche”, la resilienza ha lo scopo di valutarne il comportamento in seguito al manifestarsi di una perturbazione esterna (evento naturale o antropico), dovuta sia ai cambiamenti climatici nel lungo periodo sia all'impatto di eventi estremi (singoli o ripetuti) [2016\_El-zein]. Nonostante ciò, la resilienza dipende da caratteristiche che il sistema possiede anche nelle fasi pre-, durante e post- evento [2013\_Faturechi], coinvolgendo nella valutazione aspetti sia tecnici sia gestionali [2014\_Linkov], di tipo strutturale (come *seawalls and levees*), non strutturale (*the management of floodplains*) e basati su caratteristiche naturali del contesto (come *beach-dune complexes and wetlands*) [2013\_Bridges].

Inoltre, per poter ottenere un sistema resiliente è necessario considerare le possibili interazioni che potrebbero verificarsi tra tutti i suoi componenti (*assets*) ed analizzare come essi reagiscono all'evento perturbatore [2016\_CenNan].

In riferimento alla resilienza *process-oriented*, nei capitoli successivi sono trattati i principali approcci di valutazione riferiti alle infrastrutture di trasporto [2014\_NIP] [2015\_Topolis\_Climate\_Change] [2017\_PNACC] [2015\_Agarwal], aventi come obiettivo l'individuazione di azioni volte ad incrementare tale grandezza.

Ad oggi pochi piani di resilienza sono completi, ma vi è una forte spinta da parte delle varie nazioni in tutto il mondo a redigerne uno nei prossimi anni [2017\_Vallejo]. Il *Nationale Infrastructural Plan of New Zeland* [2014\_NIP] è un piano redatto appositamente per l'infrastruttura critica dei trasporti nella Nuova Zelanda, il quale fornisce una visione piuttosto olistica dello stato di resilienza del territorio analizzato.

## 4. Disaster Life Cycle

---

Il *Disaster Life-Cycle* è uno strumento finalizzato alla gestione dell'emergenza, creato per supportare i gestori dei servizi legati all'infrastruttura colpita. Il *tool* scompone il disastro in quattro fasi temporali: *Mitigation*, *Preparation*, *Response* e *Recovery*, come indicato in Fig. 4 [2002\_Alexander] [2011\_Godschalk] [2015\_Khademi] [2002\_Green].

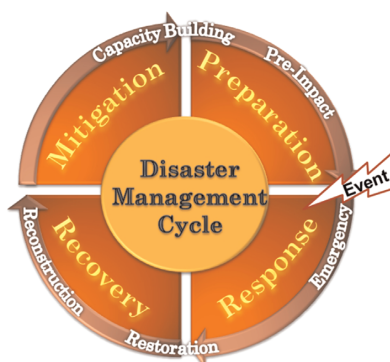


Fig. 4: Disaster Life-Cycle [2015\_Khademi]

Le prime due fasi precedono il manifestarsi del collasso del sistema (*failure*) e le azioni intraprese possono solo servire ad una prevenzione del rischio, con lo scopo di limitare gli impatti negativi dei pericoli [2009\_UNISDR]. Le altre due fasi seguono il collasso e provvedono a ripristinare le performance del sistema andate perdute, attraverso azioni che si attuano nel breve e nel lungo periodo [2014\_Faturechi].

### Fase di mitigazione

Nella fase di mitigazione le azioni adottate hanno lo scopo di ridurre l'impatto dei pericoli derivanti dagli eventi catastrofici o il danno causato dalle sue conseguenze, attraverso azioni che comprendono l'utilizzo di

tecniche ingegneristiche, per esempio costruzioni più “resistenti”, oppure volte allo sviluppo di politiche ambientali o della consapevolezza pubblica [2009\_UNISDR].

Secondo [2014\_Faturechi], nel contesto dei sistemi di trasporto, le strategie di mitigazione intraprendibili prima del collasso possono riguardare:

- Il miglioramento del sistema di *retrofit* dei componenti del sistema;
- L’espansione del sistema, includendo nuovi collegamenti o nodi;
- L’aggiunta di capacità agli elementi del sistema;
- Il posizionamento di risorse a scopo protettivo.

Secondo [1999\_Mileti], invece, le azioni di mitigazione possono essere la pianificazione e gestione del territorio, l’adozione di norme edilizie, l’utilizzo di assicurazioni *ad-hoc*, effettuare previsioni e migliorare la divulgazione dell’informazione.

### **Fase di preparazione**

La fase di preparazione all’evento comprende azioni che devono essere intraprese subito prima di un evento, come l’adozione di sistemi di preallarme, la pianificazione dell’emergenza, esercitazioni e azioni sul campo, la mobilitazione dei primi soccorritori e delle squadre di utilità, lo stoccaggio di attrezzature e forniture, nonché l’utilizzo dei media per sensibilizzare l’opinione pubblica [2012\_Johnstone] [2009\_UNISDR].

### **Fase di risposta**

La risposta ai disastri si attua attraverso una risposta immediata, attraverso azioni volte al soccorso umanitario e alla gestione dell’emergenza (Lindell et al., 2007), e una risposta nel medio termine, le cui azioni hanno lo scopo di ripristinare i componenti danneggiati e la connettività della rete (es. rimozione detriti, costruzione di strade temporanee, ecc...) di primaria importanza.

### **Fase di recupero**

Terminata la fase di emergenza “propriamente detta”, si manifesta la risposta nel lungo termine con la fase di recupero: in cui si attuano azioni volte al completo ripristino delle performance del sistema [2014\_Faturechi], in cui è necessario considerare tutti gli *stakeholders* coinvolti, *il budget* a disposizione, nonché i vincoli esistenti e le relative modalità di applicazione [2014\_Mostafavi]. Dopo l’evento, quindi, la disponibilità di risorse sociali ed economiche influisce sulla curva di *recovery* [2015\_Agarwal].

Il concetto di resilienza non è associato solamente ad una singola fase del *Disaster Life-Cycle*, ma la valutazione della risposta dell’infrastruttura richiede la necessità di analizzare ognuna di esse [2014\_Faturechi].

## 5. Caratteristiche degli eventi eccezionali

---

Un evento che coinvolge una infrastruttura, può essere considerato prevedibile o eccezionale [2013\_Park].

Attualmente nella progettazione delle infrastrutture civili le perturbazioni esterne vengono determinate attraverso analisi statistiche basate su dati acquisiti da strumentazioni distribuite sul territorio [ARTICOLO] o da monitoraggi (es. l'intensità e l'altezza di pioggia sono grandezze misurate da pluviometri distribuiti sul territorio). Le elaborazioni statistiche individuano la funzione di distribuzione di probabilità (d.d.p.) che più si adatta a tale distribuzione di dati.

Affinché la distribuzione risulti significativa, uno dei requisiti fondamentali è la necessità di disporre di una popolazione di dati "sufficientemente numerosa", ma tale condizione non può verificarsi per gli eventi considerati "rari", o "black swans" come definiti in [2008\_Taleb], cioè quelli caratterizzati da una bassa probabilità di accadimento e da una elevata intensità. Quindi, non soddisfacendo tale requisito, le caratteristiche (intensità e probabilità di accadimento) non seguono la stessa d.d.p. dell'evento prevedibile. [2006\_Aban] [2013\_Park] [2013\_White]

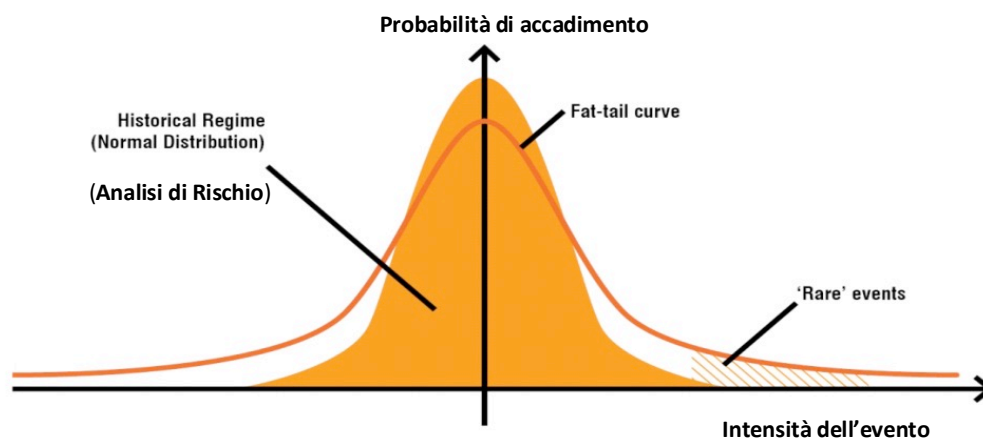


Fig. 5: D.d.p. dell'evento raro rispetto alla d.d.p. basata su dati storici [2014\_NIP]

Questi eventi rari comprendono gli eventi estremi, di origine sia naturale (tempeste, frane, alluvioni, terremoti, ecc...) sia antropica (i.e. un attentato terroristico), e anche una loro combinazione [2014\_NIP].

In passato sono state eseguite analisi storiche degli eventi estremi, nelle quali è stata assunta una distribuzione di tipo normale (Gaussiana), ma è stato successivamente riscontrato che la loro d.d.p. non forniva previsioni corrette, sottostimando sia la frequenza di accadimento, sia la l'entità del danno causato [2014\_NIP].

Una metodologia per determinare le distribuzioni analitiche di probabilità per gli eventi estremi può essere basata sul "teorema limite" (Fisher-Tippett), il quale afferma che il valore massimo di molte variabili aleatorie ha una distribuzione che converge a:

- Reverse Weibull (massimo delimitato);

- Gumbel;
- Frechet (minimo delimitato);

indipendentemente dalla “*Parent Distribution*”, riportata nella seguente tabella [2013\_INFRARISK].

Table 2: Parent Distribution

Parent distribution	Asymptotic distribution type of maximum
Uniform, beta (short tail)	Reverse Weibull
Normal, exponential, gamma, lognormal, Weibull	Gumbel
Pareto, Cauchy, Student-t (fat tail)	Frechet

Per i terremoti, o più in generale per eventi rari, un’approccio statistico ritenuto corretto per la stima della coda della distribuzione di probabilità degli eventi è basata sull’uso della “distribuzione limite dei valori estremi” [Bassi et al.,1998] [Embrechts et al., 1997] [Reiss and Thomas, 1997], su cui sono basate la “Distribuzione Generalizzata di Pareto (Generalized Pareto Distribution – GPD) e la “distribuzione generalizzata dei valori estremi” (Generalized Extreme Value Distribution - GEV).

In [2017\_Pisarenko] viene dimostrata la validità della Distribuzione Generalizzata di Pareto, nonostante la sua applicazione pratica sia frequentemente ostacolata dalla rarità degli eventi estremi e richieda talvolta l’utilizzo di nuovi approcci per la stima dei parametri della distribuzione.

La GPD ha la seguente forma:

$$F(x|\xi, s, h) = 1 - \left[ 1 + \frac{\xi}{s}(x - h) \right]^{-1/\xi}; \quad x \geq h,$$

In cui:  $h$  è il valore limite (*threshold* – supposto noto); i parametri  $s$  e  $x$  devono essere determinati;  $s$  è il parametro di scala ( $s > 0$ ) e  $x$  controlla le proprietà della funzione  $F(x)$ .

Questo risulta essere solamente uno dei possibili metodi statistici di valutazione degli eventi rari, e nel Cap. 7 sono elencati altri metodi alternativi che superano il problema della stima della probabilità.

## 6. Sostenibilità, vulnerabilità e resilienza

---

Dal 1973, le pubblicazioni riguardanti la definizione di resilienza sono aumentate esponenzialmente [2013\_Park], così come quelle associate ad altri concetti legati a disastri, emergenze, rischi e sostenibilità.

In [2018\_Marchese] viene indagata la relazione tra resilienza e sostenibilità. L'autore ha cercato similitudini e differenze concludendo che le metodologie e gli strumenti disponibili, utilizzati per valutare entrambe le grandezze contemporaneamente, non consentono di soddisfare le esigenze di tutti gli *stakeholders*.

La resilienza e la sostenibilità hanno due principali differenze: l'obiettivo e la scala temporale.

Le politiche resilienti miravano a determinare la reazione del sistema (compresi gli aspetti ambientali, sociali ed economici) nei confronti di perturbazioni estreme [2012\_NRC] o da stress persistente [2016\_Folke]. La sostenibilità si concentra sull'aumento della qualità della vita comunitaria salvaguardando l'ambiente, gli aspetti sociali ed economici e le generazioni presenti e future [2013\_Collier et al.] [2018\_Marchese]. Infatti l'UNISDR del 2009 definisce la sostenibilità come uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente, senza compromettere la capacità delle generazioni future.

L'obiettivo di entrambe le misure riguarda la determinazione di priorità: dei risultati a lungo termine per la sostenibilità e dei processi conseguenti una perturbazione per la resilienza [2014\_Bocchini] [2013\_Park] [2014\_Redman]. Le azioni intraprese nei confronti della sostenibilità hanno un'applicazione temporale più lunga di quella della resilienza.

Un'altra misura che non è stata ancora definita in modo univoco è la vulnerabilità [2015\_Agarwal] [2003\_Brooks] e, come la resilienza, è descritta in modo piuttosto qualitativo [2014\_Faturechi].

Secondo Agarwal et al [2015\_Agarwal], la vulnerabilità può essere vista come una caratteristica del sistema e la resilienza come misura della performance; cioè le due misure sono correlate e una riduzione della vulnerabilità può corrispondere ad un aumento della resilienza. [2014\_Faturechi] condivide questo concetto, come rappresentato in Fig. 5 nell'area comune tra vulnerabilità e resilienza.

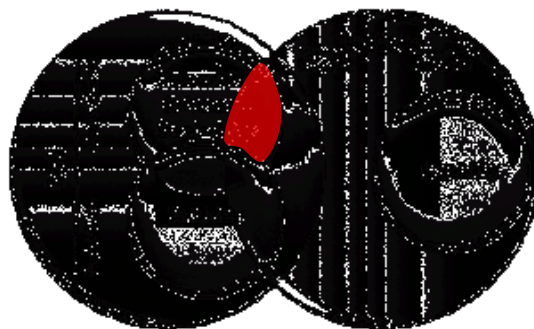


Fig. 6: Misure della resilienza e analisi di rischio

La vulnerabilità può essere vista principalmente in due modi:

- La vulnerabilità è definita dall'esposizione: è correlata all'impatto, alla resilienza e alle capacità di recupero del sistema [2015\_Khademi] [1999\_Lewis], e quindi considera l'esposizione, la sensibilità alla perturbazione e l'adattabilità come indici [2006\_Adger].
- La vulnerabilità non è definita dall'esposizione: è considerata come una caratteristica intrinseca del sistema ed è indipendente dall'esposizione (probabilità di perturbazioni esterne). Pertanto, per ridurre la vulnerabilità del sistema non sono necessarie informazioni sugli eventi estremi, contrariamente al rischio [2015\_Agarwal].

Levina e Tirpak [2006\_Levina and Tirpak] e AECOM et al. [2011\_AECOM] hanno definito la vulnerabilità come:

*“Vulnerability has been defined as the measure of how susceptible a system or asset is to a hazard (caused by an event or gradual changes over time) and implies that sensitivity, exposure and adaptive capacity have been considered”*

La vulnerabilità è stata definita come la misura di quanto un sistema o una risorsa sia sensibile ad un pericolo, ed implica che la sensibilità, l'esposizione e la capacità adattativa siano considerate.

Ciò si oppone alla definizione abbastanza comune di rischio, in cui vulnerabilità, esposizione e probabilità di rischio è influenzata da tre diversi indici:

$$R = f(H, V, E) \quad (1)$$

Dove:

- (H) pericolosità: probabilità di accadimento dell'evento;
- (V) vulnerabilità: propensione a subire danneggiamenti in conseguenza dell'evento;
- (E) esposizione: numero degli elementi a rischio presenti nell'area.

Il prodotto dell'esposizione e della vulnerabilità definisce le conseguenze (danni), in termini di perdita di vite umane e danni agli edifici, alle infrastrutture e al sistema produttivo.

Questo punto di vista è condiviso da UNISDR del 2009 [2009\_UNISDR], che definisce la vulnerabilità come:

*“The characteristics and circumstances of a community, system or asset that make it susceptible to the damaging effects of a hazard.”*

La vulnerabilità è una caratteristica di elementi (comunità, sistema o risorsa) che è indipendente dalla sua esposizione, tuttavia comunemente la definizione è spesso utilizzata in senso più ampio, includendo anche l'esposizione [2009\_UNISDR].

Per quanto riguarda la definizione del termine in relazione ai cambiamenti climatici, il [IPACC 2014a] e il [PNACC] definiscono la vulnerabilità come:

"La propensione o la predisposizione degli elementi esposti a essere influenzati negativamente. Il termine comprende una varietà di concetti ed elementi, tra cui la sensibilità o suscettibilità al danno e la mancanza di capacità di far fronte e di adattarsi".

La definizione del *National Infrastructural Plan of New Zeland* [2014\_NIP] riprende quella precedente del [IPCC 2014a].

*“Vulnerability refers to the propensity of exposed elements such as human beings, their livelihoods, and assets to suffer adverse effects when impacted by hazard events.”*

Ogni volta che le capacità di adattamento dei sistemi influenzano la vulnerabilità, cambia sia l'esposizione che la sensibilità. Pertanto, un maggiore adattamento corrisponde a una minore dipendenza delle attività dall'esposizione e dalla sensibilità e, di conseguenza, anche a una minore vulnerabilità [Engle 2011].

Anche se ci sono visioni contrastanti, la vulnerabilità è un concetto già molto più diffuso della resilienza e valutazioni settoriali sono tuttora disponibili in ogni campo dell'ingegneria, in cui il rischio è calcolato come nell'equazione (1).

Confrontando la vulnerabilità con la resilienza, un altro aspetto molto discusso riguarda i fattori che influenzano la vulnerabilità. In letteratura vi sono idee contrastanti: è possibile individuare articoli in cui la misura è legata alla capacità recupero del sistema [2015\_Khademi], ed altri in cui dipende solamente da fattori legati alle caratteristiche della domanda di trasporto [2010\_Chang] ( nel caso di infrastrutture di trasporto).

In accordo con [2015\_Khademi], la vulnerabilità può essere trattata: per una pianificazione a lungo termine [2016\_El-Zein] con un'analisi dei problemi socioeconomici a scala regionale, in un breve periodo nei confronti di eventi perturbatori come alluvioni e frane, e nell'emergenza in cui si ha un grosso danno all'infrastruttura e sono necessari interventi di soccorso alla società. In quest'ultimo caso l'autore calcola la vulnerabilità in funzione di caratteristiche organizzative (numero di ambulanze e stazioni dei vigili del fuoco, capacità di stoccaggio del cibo etc...).

Chang [2010\_Chang], invece, individua tre tipologie di indicatori, basati su:

- Perditempo e costo di viaggio;
- Capacità di rete;
- Connettività.

Il perditempo e costo di viaggio dipende dalla domanda di spostamento tra le varie origini e destinazioni (O/D), riflettendo le caratteristiche socio-economiche di una certa area di studio. Le altre tipologie di indicatori dipendono soltanto da caratteristiche intrinseche della rete (geometria e topologia).



## 7. Resilienza e gestione del rischio

---

In questo capitolo viene messa a confronto la resilienza, intesa come approccio di valutazione (*process-oriented*), con altri metodi finalizzati all'aumento delle capacità di recupero delle infrastrutture di trasporto.

I più comuni approcci sono definiti in piani strategici nazionali e internazionali oppure in articoli scientifici; tutti quanti trovano fondamento in almeno uno dei seguenti punti [TCRP\_Vol2]:

1. **Esperienza di disastro passato:** i documenti sono stati redatti dalle agenzie operanti dei sistemi di trasporto che vogliono migliorare la capacità di recupero a seguito di un disastro e / o di un evento estremo che ha comportato perdite importanti, e.g. Casi studio in [TCRP\_Vol2], [PAPA CRISTINA];
2. **Leadership e cultura organizzativa:** atti finalizzati a definire la leadership e le caratteristiche organizzative di una comunità in grado di produrre una migliore risposta e recupero dopo un insuccesso. In questo caso tutte le parti interessate (entità private e pubbliche) coinvolte in queste fasi cooperano insieme per recuperare uno stato di performance precedente [Khademi, TCRP, London Plan]. La collaborazione tra più entità è dovuta anche alle grandi interdipendenze tra le infrastrutture [2017\_The Global Risk];
3. **Programmi ambientali e di sostenibilità:** le agenzie hanno ottenuto infrastrutture e sistemi più resilienti applicando azioni di adattamento in materia di sostenibilità e programmi ambientali. Questi programmi [PNACC, London, Vallejo, SNACC] mirano ad adeguare l'ambiente a necessità nel lungo periodo;
4. **Gestione delle risorse e stato di buona riparazione:** la resilienza dipende anche dalle caratteristiche dei beni e dal loro stato di buona riparazione. In alcuni approcci [Mostafavi] [Progetto MARTA del TCRP] la resilienza implica la gestione del rischio in attività riguardanti la sostenibilità, i cambiamenti climatici e altri fattori ambientali che influenzano il ciclo di vita dell'infrastruttura.

I principali approcci finalizzati all'incremento della resilienza sono legati ai concetti di:

- *Disaster risk*: definisce azioni nei confronti di eventi estremi, nel breve e medio periodo;
- *Climate change*: individua azioni di adattamento per ridurre le conseguenze del cambiamento climatico nel lungo periodo;
- Resilienza (come misura): definisce azioni per incrementare la resilienza complessiva dei sistemi.

### 7.1. Obiettivi, scala temporale di riferimento

Fino ad oggi, l'analisi di rischio classica (non trattata nel presente documento) è stato l'approccio più utilizzato nella progettazione civile, infatti, è possibile trovare in letteratura molti studi inerenti il rischio in ogni settore

dell'ingegneria, e nei confronti di qualsiasi perturbazione (come ad esempio [ARTICOLO MORELLI] per gli edifici colpiti da terremoti, [articolo PRATELLI] per rischio di nelle reti di trasporto, etc...).

Fino a pochi anni fa, l'unico approccio utilizzato era l'"analisi di rischio" (*risk analysis*), composta da una fase di "valutazione" (*risk assessment*) e da una di "gestione" (*risk management*).

Il *risk assessment* consiste nell'identificare le vulnerabilità di uno specifico componente del sistema nei confronti di un evento esterno (di caratteristiche note) e nello stimarne le conseguenze in termini di perdita di funzionalità nel sistema. Il *risk management* garantisce al singolo componente del sistema una adeguata "resistenza" alla minaccia individuata, prevenendo possibili collassi [2014\_Linkov]; differenza sostanziale rispetto alla valutazione della resilienza, che, ammettendo il manifestarsi di uno o più collassi, ha come obiettivo principale il recupero delle prestazioni (UNISDR, 2015a).

L'analisi di rischio risulta essere insufficiente per due principali motivi [2013\_Park] [2006\_Aban] [2014\_Linkov]:

- considera ogni singolo componente del sistema indipendentemente dagli altri;
- si basa su eventi di cui sono note le caratteristiche (la probabilità di accadimento associata all'intensità), i quali si adattano ad una distribuzione di probabilità nota (es. distribuzione di Gauss come indicato in Fig. 5)

Come descritto precedentemente le infrastrutture (specialmente le infrastrutture critiche) posseggono una elevata connettività, interoperatività e interdipendenza (con connessioni sociali, tecniche e/o economiche) che modificano il comportamento dell'intera infrastruttura (System-of-System). Nel contesto dei trasporti, al verificarsi di un disastro, le performance di un sistema possono essere ben quantificate attraverso la analisi del rischio, solamente se l'analisi si riferisce uno specifico componente del sistema (es. collasso di un ponte), ma la stessa analisi però non può essere applicata nei confronti di più componenti del sistema che interagiscono tra loro [2013\_Faturechi\_PhD].

L'approccio del *Disaster Risk* supera la prima limitazione considerando tutti i componenti del sistema all'interno del processo di analisi. Inoltre considera l'interazione tra essi e gli eventi perturbatori che generano condizioni di esposizione, vulnerabilità e rischio in un sistema. (UNISDR, 2015a).

La definizione di "*Disaster risk*" è vista dal [2009\_UNISDR] come l'insieme delle potenziali perdite di vite, stato di salute, mezzi di sussistenza, beni e servizi, che potrebbero verificarsi per una particolare comunità o società in un determinato periodo di tempo futuro.

*"The potential disaster losses, in lives, health status, livelihoods, assets and services, which could occur to a particular community or a society over some specified future time period"*

Il *Disaster risk management* fornisce i processi, ed il *Disaster Risk Reduction* le azioni, che influenzano esposizione, vulnerabilità e pericolosità in un sistema, limitando la creazione di nuovi rischi e riducendo quelli residui esistenti [2017\_UNISDR].

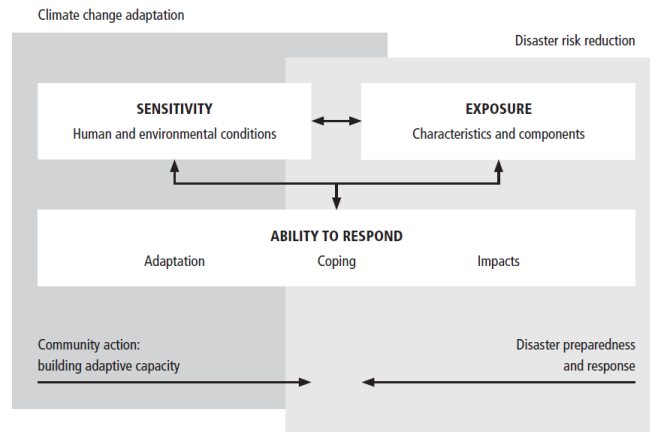
Il *Disaster Risk Reduction* rappresenta l'approccio utilizzato dalla Nazione Unite del 2005 nel “*Hyogo Framework for Action (HFA)*” [2005\_US\_Hyogo Framework for Action], poi ripreso dal “*Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*” [Sendai], in cui sono stati raccolti gli sforzi, le tecniche e le pratiche adottate per gestire i fattori casuali di un disastro, con l'obiettivo di ridurre l'esposizione, la vulnerabilità di persone e beni, nonché migliorare la gestione del territorio e la preparazione della comunità, identificando le azioni di mitigazione per raggiungere uno sviluppo di tipo sostenibile [2009\_UNISDR]. Quest'ultimo documento introduce importanti innovazioni: pone enfasi sul “*Disaster Risk management*” e sottolinea che l'aspetto legato alla riduzione del rischio è essenziale per raggiungere uno sviluppo di tipo sostenibile [Sendai].

L'approccio legato al “*Climate Change*” è emerso negli ultimi anni a seguito dell'accentuazione del problema dei cambiamenti climatici. Essi rendono gli eventi eccezionali sempre più frequenti e/o più intensi, rendendone la stima ancora più incerta [2014\_Linkov] [2012\_IPCC] [2009\_CCAF] [2015\_Topolis\_Climate Change]. L'approccio si basa sulla stima futura (proiezione) delle perturbazioni naturali, come l'innalzamento del livello del mare, i cambiamenti di temperatura, le precipitazioni o altri fattori climatici. Non tiene in considerazione gli eventi estremi, ma mira a definire strategie e investimenti nel lungo termine [2017\_Wakeman] per prevenire gli eventi naturali legati al cambiamento climatico.

Il “*Climate Change Adaptation Strategy and Framework*” [2009\_CCAF] suggerisce un processo iterativo per “Adattare” l'ambiente al cambiamento climatico. Sulla base di questo piano, sono stati redatti lo “*International climate change adaptation framework for road infrastructure*” del 2015 [2015\_Topolis\_Climate Change] e il “*Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*” del 2017 [2017\_PNACC].

Sia il *Disaster Risk Reduction* sia le azioni di adattamento al *climate change* sono due modalità che trattano la riduzione della vulnerabilità, il monitoraggio degli eventi e l'incrementazione delle capacità della comunità. Il *Disaster Risk Reduction* può essere vista come un insieme di azioni (di mitigazione) che possono essere messe in azione nel breve-termine contro eventi estremi di qualsiasi natura (anche non dovuti al clima), mentre l'adattamento al *climate change*, coinvolge processi di adattamento a lungo-termine, fornendo strumenti di gestione, piuttosto generali, che dovrebbero aiutare la società ad adattarsi ai cambiamenti [2005\_UNISDR][2016\_Shipper].

Nello “*Special Report*” dell' Intergovernmental Panel on Climate Change, *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [2012\_IPCC], è emerso che il *Disaster Risk* nasce dalla combinazione delle conseguenze dovute al *Climate Change* e alle politiche sbagliate di sviluppo. L'UNISDR del 2015 [2015\_UNISDR] afferma che il *Disaster risk reduction* include le azioni di adattamento al cambiamento climatico, ed entrambi influiscono sulla vulnerabilità e resilienza delle comunità [2012\_IPCC] [2016\_Shipper] come mostrato in Fig. 7.



Note: Diagram adapted from the vulnerability framework developed by Turner et al., 2003.

Fig. 7: Relazione tra Disaster Risk e Climate Change [Thomalla]

La resilienza, come già discusso nei capitoli precedenti, può essere vista come la capacità della società e dei sistemi di resistere, assorbire, accogliere, recuperare dai disastri nel breve, medio e lungo termine. Gli approcci basati sulla resilienza (intesa come misura) sono abbastanza recenti, come [2003\_Bruneau], [2014\_Mostafavi], ma solo alcuni di questi riguardano una applicazione a scala di dettaglio (*asset o network*), in cui sono definite le azioni da intraprendere. Questo è il caso del [2014\_NIP] e [Londra].

Concludendo, l'analisi basata sul rischio rappresenta solo parzialmente lo stato di un sistema [2013\_Faturechi] e da sola non è sufficiente per definire la resilienza [2013\_Park], ma piuttosto ne costituisce un metodo complementare [2014\_Linkov].

## 7.2. Eventi perturbatori

Come descritto nei capitoli precedenti la classica analisi di rischio si basa su eventi prevedibili (non rari), e tale limitazione è superata dall'approccio del Disaster risk, che si basa sull'evento sconosciuto di caratteristiche estreme.

La valutazione delle caratteristiche dell'evento raro costituisce uno dei fattori fonte di maggiore incertezza. Nel corso del tempo sono stati definiti alcuni metodi per superare i problemi nelle valutazioni di tipo probabilistico; [2014\_Faturechi] ha analizzato una vasta bibliografia riguardo il tema della resilienza, ed ha classificato ogni articolo in base alla tecnica di modellazione dell'evento, suddividendoli come segue:

- *Probability distribution*: viene stimata la probabilità di accadimento dell'evento raro e su di essa si basa la progettazione (Generalized Pareto Distribution – GPD, Generalized Extreme Value Distribution – GEV, etc...);
- *Scenario-Based Techniques* : vengono individuati alcuni scenari post-collasso e vengono analizzati con metodi di tipo Before - After ;

- *Simulation Techniques* : viene simulato un ampio *range* di scenari in relazione alla perturbazione (o danno) e alla probabilità di accadimento;
- *Worst-Case Scenario* : viene analizzato il caso peggiore che si potrebbe verificare a seguito di uno o più collassi, con tecniche basate su “*optimization and game-theoretic approach*”.

La resilienza, così come il *Disaster Risk*, è correlata ad eventi rari (dovuti in parte ai cambiamenti climatici) ma, laddove l'analisi basata sul rischio mira a prevenire il collasso, la resilienza tiene conto dell'imprevedibilità dell'evento [2015\_Agarwal] ipotizzando la possibilità di uno o più collassi [2013\_Park].

A differenza il *Climate Change* considera una stima futura degli eventi; analizzando il trend di variazione delle ddp degli eventi negli anni precedenti, vengono stimate le ddp future, relativamente agli eventi noti, cioè si considerano intensità superiori a quelle attuali, ma non perché l'evento è raro, ma perché nel tempo cambierà la ddp associata all'evento noto.

Una sostanziale differenza tra i vari approcci risiede inoltre nella natura degli eventi a cui viene fatto riferimento: il *Disaster Risk* e la resilienza sono approcci generali in cui può essere considerato l'evento di origine sia naturale sia antropica, mentre nel *Climate Change* sono presi in considerazione solamente gli eventi naturali.

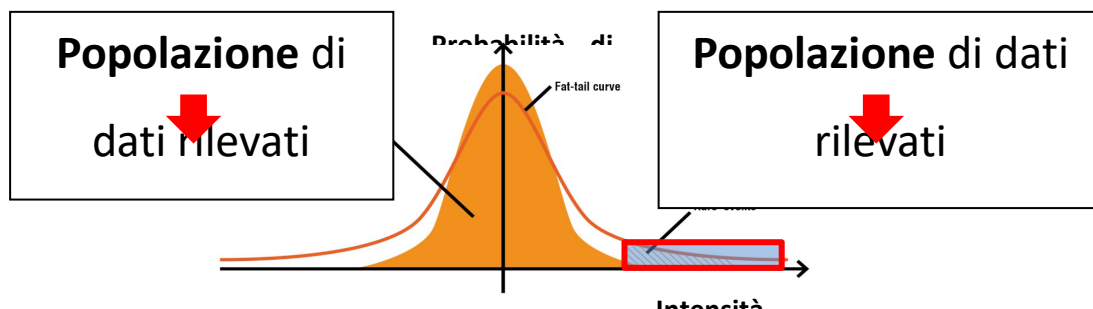


Fig. 8: Caratteristiche degli eventi e Analisi utilizzate

### 7.3. Elementi soggetti ad analisi

Le analisi di rischio classiche (*risk analysis*), non trattate in questo documento, valutano e gestiscono i rischi per un componente specifico (*asset*), fronteggiando un evento avverso previsto [2014\_Linkov], conferendo “resistenza” agli elementi e cercando di prevenire ogni possibile collasso [2013\_Park].

Nel contesto dei trasporti, al verificarsi di un disastro, le performance di un sistema possono essere ben quantificate attraverso la misura del rischio, se però esso è riferito ad uno specifico componente del sistema (es. collasso di un ponte). La stessa analisi però non può essere applicata nei confronti di più componenti del sistema che interagiscono tra loro [2013\_Faturechi\_PhD].

Il *Disaster risk* va oltre i limiti delle analisi di rischio, e considera le interazioni tra i singoli assets ed i rischi causati da eventi multipli che possono generare esposizione, vulnerabilità e rischio nell'intero sistema [UNISDR, 2015a]. I processi legati a questo approccio seguono grossomodo le fasi illustrate in Fig. 7.

Inizialmente viene definito il contesto di applicazione (sistema e rischi a cui è assoggettato), viene effettuata l'analisi di rischio e infine vengono identificate le azioni di trattamento del rischio.

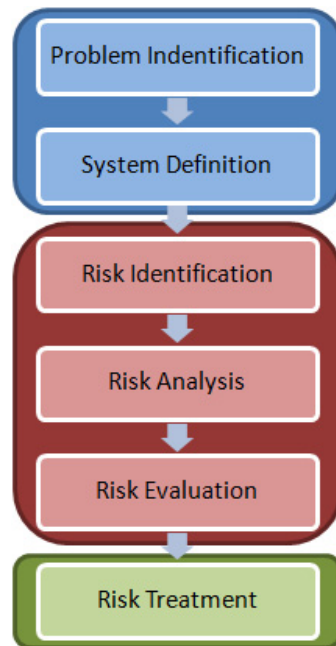


Fig. 9: INFRARISK Risk assessment

Gli approcci basati sul cambiamento climatico seguono un processo assimilabile a quello del "Climate Change Adaptation Strategy and Framework" [2009\_CCAF], il quale suggerisce un processo di tipo iterativo, per "Adattare" l'ambiente ai cambiamenti climatici.

Tale processo si concretizza attraverso le seguenti fasi:

1. Identificazione dell'ambito, delle variabili, dei rischi e dei dati
2. Valutazione dei rischi e delle loro priorità
3. Sviluppo e selezione di strategie e risposte di adattamento
4. Integrazione dei risultati nel processo decisionale

Come per l'approccio resiliente, anche in quello basato sul CC, viene tenuta in considerazione l'interazione tra i vari asset ammettendo talvolta la possibilità di collassi in sequenza.

## 7.4.Fattori

Relativamente ai fattori che debbano entrare a far parte dell'analisi, per ogni approccio, vi sono diversi punti di vista.

Secondo il [2017\_UNISDR], i fattori che influenzano il *Disaster risk* per una comunità sono: povertà e disuguaglianza, cambiamenti climatici e variabilità, urbanizzazione non programmata e rapida e la mancanza di considerazioni sul rischio di disastri nella gestione del territorio e nella gestione ambientale e delle risorse naturali nonché fattori aggravanti quali il cambiamento demografico, le politiche non informate sul rischio di disastri, la mancanza di regolamenti e incentivi per gli investimenti privati nella riduzione del rischio di catastrofi, catene di approvvigionamento complesse, la limitata disponibilità di tecnologia, usi insostenibili delle risorse naturali, ecosistemi in declino, pandemie ed epidemie (Fig. 10).

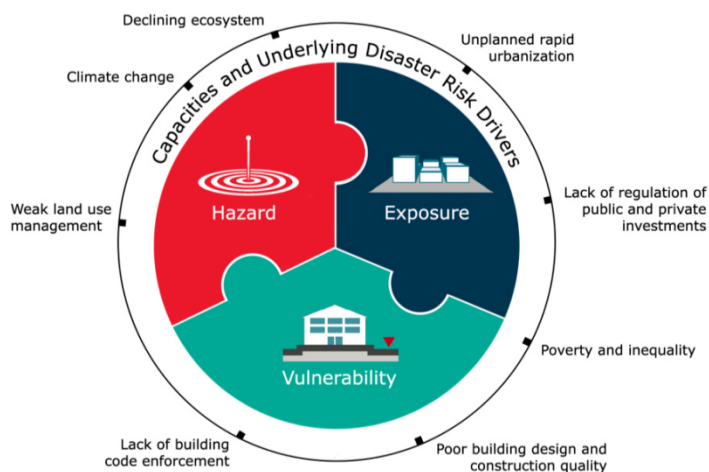


Fig. 10 drivers may influence more than one component of disaster risk [2017\_UNISDR]

Dalla figura si nota come i fattori del cambiamento climatico facciano parte dell'approccio Disaster risk. Per entrambi, attori pubblici e privati sono necessari per attuare le relative misure di adattamento, perché soltanto la loro unione può fornire gli incentivi necessari e le capacità per arginare i danni e tornare alle prestazioni desiderate. [[Http://climatepolicyinfohub.eu/climate-change-adaptation-needs-barriers-and-limits](http://climatepolicyinfohub.eu/climate-change-adaptation-needs-barriers-and-limits)]

Lo "Integrating Disaster Risk Reduction", sviluppato dalle Nazioni Unite a supporto del "2030 Agenda for Sustainable Development", è un piano che fornisce un collegamento pratico e tangibile tra lo sviluppo delle comunità umanitarie e gli *stakeholders* che partecipano ai processi di mitigazione del disastro e del rischio climatico a scala globale, nazionale, regionale e locale. [2017\_UNISDR]

In particolare il Disaster risk pone l'attenzione su azioni che possano essere intraprese prima del collasso, individuando criticità del sistema ed azioni volte alla loro riduzione. Infatti, il Disaster risk management comprende tutti quei processi sistematici di utilizzo delle direttive amministrative, delle organizzazioni e delle capacità operative necessarie per attuare le strategie, politiche e migliorare la gestione al fine di ridurre gli impatti dei rischi e la possibilità di disastro [2009\_UNISDR]. Anche la resilienza individua le criticità e gli sforzi di gestione della comunità e delle organizzazioni del territorio [2014\_Linkov], ma estende il suo campo di azione anche alle fasi di ripristino post-collasso.

Uno studio del 2012 del Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti d'America [2012\_USDOT] aveva evidenziato che:

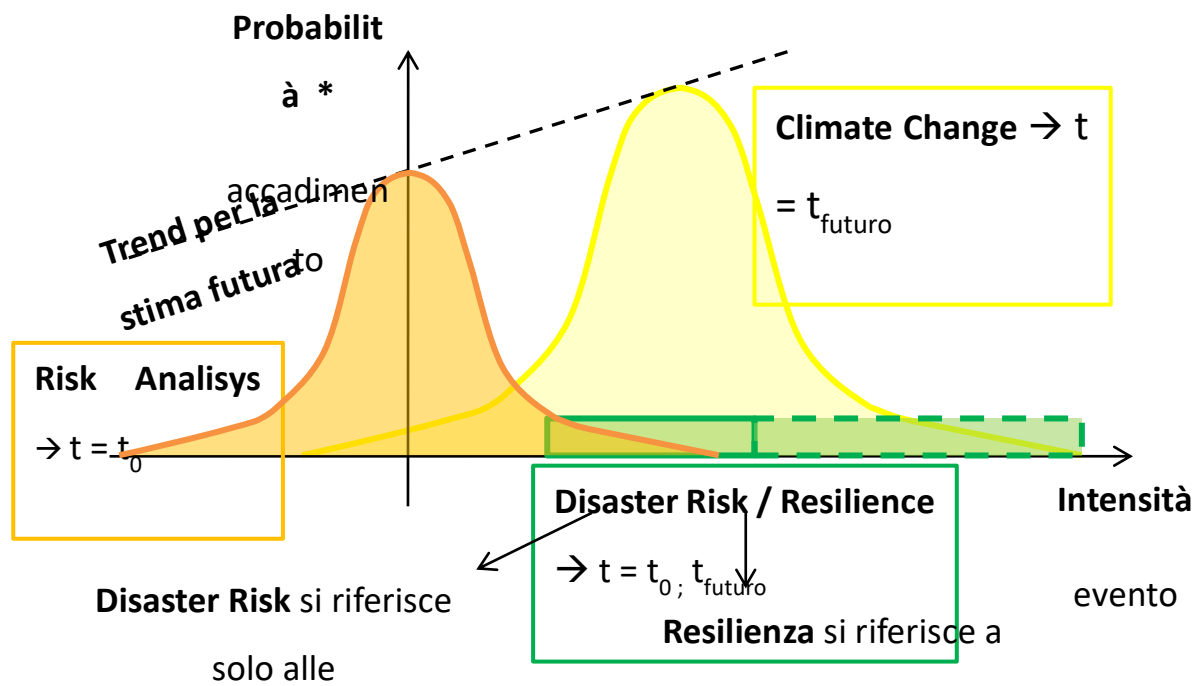
- **Gli asset del sistema di trasporto sono più sensibili** ad eventi estremi che a variazioni incrementali dei singoli fattori climatici, ovvero un sistema di trasporto ha una intrinseca capacità adattiva sulla variazione dei trend medi, ma subisce l'impatto di eventi estremi;
- **I servizi di mobilità sono più sensibili degli asset fisici agli stressor climatici**; infatti l'impatto sul servizio si rileva anche solo con ritardi o disagi temporanei che non implicano danni fisici all'infrastruttura;
- **Gli asset infrastrutturali sono particolarmente sensibili ad eventi rari** che sollecitano le strutture in modi imprevisi e non convenzionali.

In Tabella 3 sono riportati schematicamente le differenze tra i vari approcci studiati.

Tabella 3: Approcci di analisi

	Risk Analysis	Disaster Risk Reduction	Resilience Analysis	Climate Change Adaptation
Scopo	Prevenire il collasso	Prevenire il collasso	Favorire il recupero delle prestazioni	Adattare le infrastr. ai cambiamenti climatici
Tipologia eventi	Naturali e Antropici	Naturali e Antropici	Naturali e Antropici	Naturali
Caratteristiche degli eventi	Eventi Medi / Breve periodo	Eventi Estremi / Breve periodo	Eventi Estremi / Breve, medio e lungo per.	Eventi Medi / Lungo periodo
Stima delle caratteristiche degli eventi	Analisi storica / distribuzione stat.	**Dipende dal metodo utilizzato	---	Proiezioni statistiche future
Scala di analisi	Singolo Assets	Tutti gli Assets	Tutti gli Assets	Tutti gli Assets
Interazione degli Assets	NO	SI	Non direttamente	SI
Collapsi a catena	NO	SI	SI	SI
Pericoli considerati (hazards)	Singolo Pericolo	Multi-pericolo	Multi-pericolo	Multi-pericolo
Aspetti considerati nell'analisi	Criticità, Vulnerabilità	Criticità, Vulnerabilità e aspetti organizzativi (prima del collasso)	Criticità, Vulnerabilità e aspetti organizzativi (prima/dopo il collasso)	Criticità, Vulnerabilità e aspetti organizzativi
Azioni intraprese	NO	Azioni di Mitigazione (strutturali e gestionali)	Azioni di tipo strutturale e gestionale	Azioni di Adattamento (gestionali)





\* Le distribuzioni di probabilità sono indicative tutte le fasi del disastro. fasi precedenti il collasso

Fig. 11: Tempo di riferimento dei vari approcci utilizzati

## 8. Analisi degli approcci

---

In letteratura è possibile reperire una vasta quantità di approcci di valutazione della resilienza per le infrastrutture di trasporto; alcuni definiti in piani strategici nazionali o sovra-nazionali [2009\_NIPP] [2015\_Topolis\_Climate Change] [2017\_PNACC], altri definiti in articoli scientifici e studi eseguiti negli ultimi anni [2015\_Flannery], [2003\_Bruneau], [2014\_NIP], [2013\_Faturechi], [2014\_Mostafavi].

Successivamente sono riportate le caratteristiche principali dei documenti che sono stati analizzati e su cui è stato basato il metodo di valutazione della resilienza descritto nel Cap. 9:

- Approcci legati al *Disaster Risk*:
  - o *National Infrastructure Protection Plan* [2009\_NIPP] ;
  - o Tools [2016\_Stergiopoulos]
  - o INFRARISK [2014\_INFRARISK] [2015\_Tuker] [2016\_Clarke];
- Approcci basati sul *Climate Change*:
  - o *Climate Change Adaptation Strategy and Framework* [2009\_CCAF];
  - o Piano Nazionale di Adattamento Ai Cambiamenti Climatici [2017\_PNACC];
- Approcci basati sulla resilienza:
  - o Bruneau [2003\_Bruneau];
  - o System-of-System approach [2014\_Mostafavi];
  - o National Infrastructure Plan (New Zeland) [2014\_NIP].

### 8.1. Approcci legati al *Disaster Risk*

Ormai moltissime nazione hanno adottato un piano per la protezione delle proprie infrastrutture da minacce legate agli eventi rari. Di seguito si riportano solamente due piani ritenuti più significativi, in quanto per lo scopo di questo trattato presentano fattori comuni a molti altri disponibili.

#### 8.1.1. National Infrastructure Protection Plan e tools

Il *National Infrastructure Protection Plan* (USA) si pone l'obiettivo di costruire un'America più sicura e più resiliente, prevenendo, neutralizzando e mitigando gli effetti dovuti ad attacchi terroristici, calamità naturali o altre emergenze nei confronti delle infrastrutture critiche.

Le azioni di protezione possono includere una vasta gamma di attività, come il miglioramento dei protocolli di sicurezza, la realizzazione di strutture ed edifici più resistenti, l'avvio di contromisure attive o passive, l'installazione di sistemi di sicurezza, l'uso di tecnologie di "auto-riparazione", promuovendo programmi di

sicurezza del personale, implementando misure di sicurezza informatica, formazione ed esercitazioni, pianificazione della continuità operativa e azioni di ripristino e recupero.

In Fig. 12 si riporta il *framework* utilizzato:

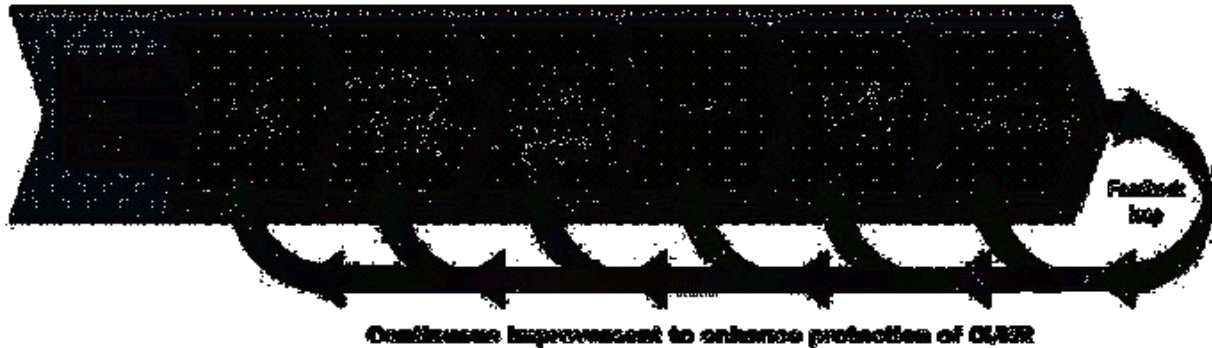


Fig. 12: NIPP framework for CI protection and risk management [2009\_NIPP]

Il piano scompone il processo di valutazione nei seguenti punti generali:

1. *Risk Identification (RI)*: Identificazione delle risorse, potenziali vulnerabilità, eventi e relazioni tra esse.
2. *Risk Assessment (RIA)*: Valutazione delle probabilità e conseguenze degli eventi di rischio. Può includere costi, pianificazione, impatti sulle prestazioni e impatti sulla funzionalità.
3. *Risk Prioritization Analysis (RP)*: Aggrega e analizza i risultati della valutazione del rischio e stabilisce le priorità che forniscono la massima mitigazione del rischio.
4. *Risk Mitigation Planning and Implementation (RMP)*: Seleziona le azioni o programmi proattivi appropriati per ridurre o gestire il rischio identificato.
5. *Effectiveness Evaluation (EE)*: Valutata l'efficacia delle misure, delle strategie selezionate ed i rischi esistenti.

Queste fasi del processo sono state utilizzate da molti *tools* di valutazione del rischio per infrastrutture critiche, come evidenziato nello studio di [2016\_Stergiopoulos]. L'autore ha classificato gli strumenti in funzione dell'approccio di modellazione utilizzato e in base allo scopo di gestione del rischio.

In Fig. 13 è stata riportata una rassegna dei tools analizzati, organizzati in funzione delle fasi a cui assolvono. Si può notare che solamente alcuni di loro consentono un'analisi esaustiva, e solamente due di loro si riferiscono specificatamente all'infrastruttura dei trasporti:

- COUNTERACT
- IRRIS

Table 4: Risk management tools

TOOL	DEVELOPER	ORIGIN	DESCRIPTION	SECTOR	WEB LINK
COUNTERACT (Generic Guidelines for Conducting Risk Assessment in Public Transport Networks)	International Association for Public Transport	EU	Risk reporting	TS, E, HPH	<a href="http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20120719_145438_7577_COUNTERACTGuidelines_lr.pdf">http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20120719_145438_7577_COUNTERACTGuidelines_lr.pdf</a>
IRRIIS (Integrated Risk Reduction of Information-based Infra-structure Systems)	IRRIIS Project	EU	Interdependency analysis and management of CI	All sectors	<a href="http://www.irriis.org/">http://www.irriis.org/</a>

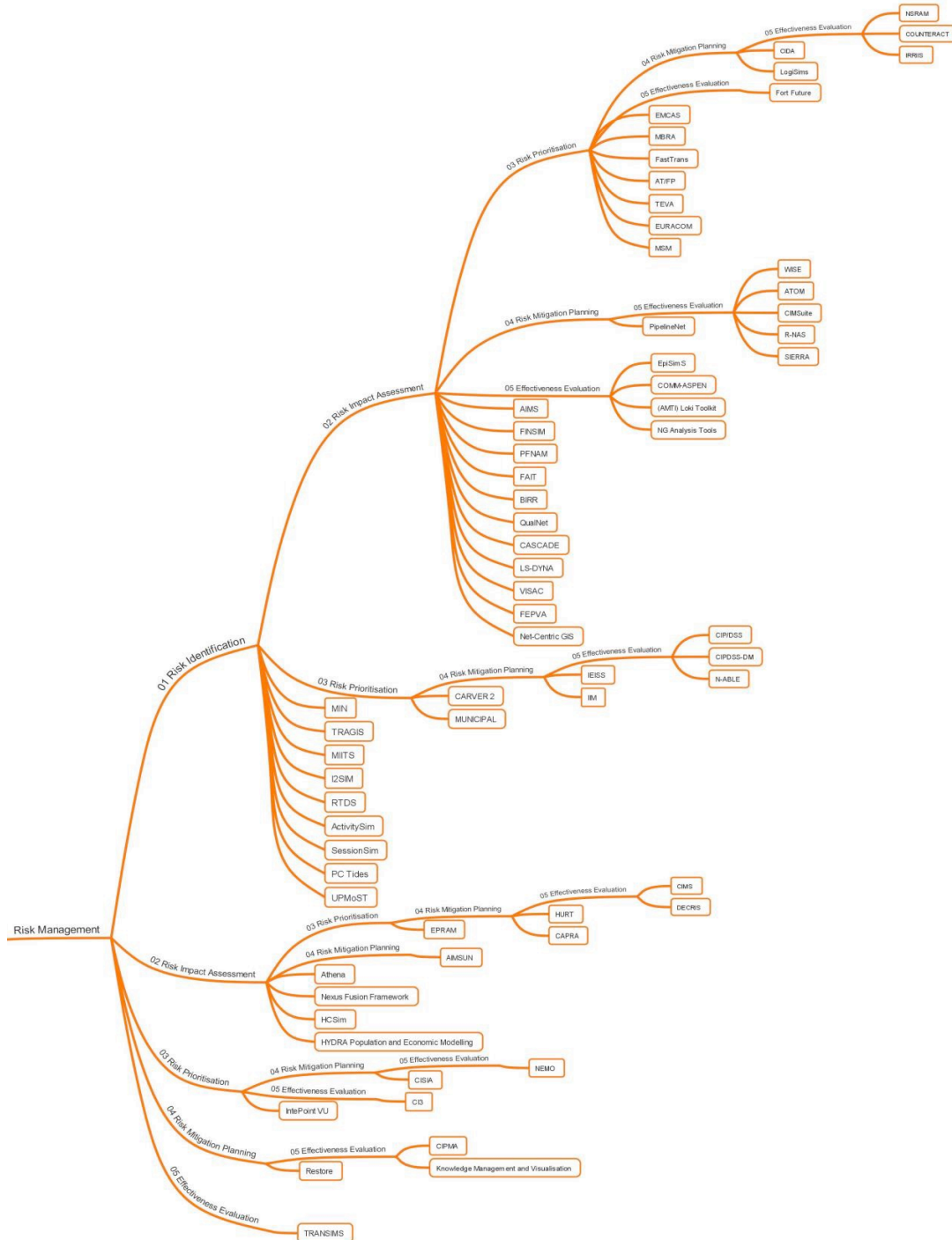


Fig. 13: CIP tools classification

### 8.1.2. INFRARISK

INFRARISK è un *framework* nato da un progetto europeo e utilizzato per sviluppare *stress test* affidabili per le infrastrutture critiche nel territorio [2015\_Tuker].

Il *tool* propone una metodologia di valutazione del rischio per le infrastrutture critiche soggette a rischi multipli (*Multi-hazards*), tenendo in considerazione le correlazioni tra gli eventi estremi e le interconnessioni presenti nel sistema. Considera i rischi derivanti da terremoto, alluvione e frana e li scompone in sotto categorie (*i.e. pluvial / fluvial / coastal floods or flood-induced scour*), le quali sono legate al rischio principale attraverso modelli analitici (collapsi a catena) [2014\_INFRARISK].

La valutazione del rischio si sviluppa seguendo lo schema di Fig. 9 [2016\_Clarke], suddiviso nelle seguenti fasi:

1. *Problem Identification* : Identificazione della rete dell'infrastruttura, i rischi associati e gli obiettivi;
2. *System definition*: definizione delle condizioni al contorno del sistema e dei limiti geografici che interessano l'analisi, i rischi e punti critici. Si definiscono i limiti temporali ed i singoli elementi che caratterizzano il sistema;
3. *Risk Identification*: Identificazione dei rischi associati al sistema precedentemente descritto. Questa fase prevede lo sviluppo di un set di scenari rappresentanti le possibili combinazioni del sistema;
4. *Risk Analysis*: Per analizzare il rischio viene stimata la probabilità di accadimento di ogni scenario associate alle conseguenze che potrebbero verificarsi, vengono utilizzati approcci qualitativi o quantitativi;
5. *Risk Evaluation*: il rischio è valutato in relazione agli interessi degli *stakeholders*;
6. *Risk treatment*: Devono essere considerate misure di riduzione del rischio nei punti in cui risulta inaccettabile (criticità).

Come parte del progetto, è in fase di sviluppo uno strumento online di supporto alle decisioni, chiamato IDST (INFRARISK Decision Support Tool) che fornirà ai proprietari e gestori delle infrastrutture gli strumenti necessari per gestire le loro reti di trasporto. Lo strumento consente di eseguire lo *stress test* fino alla fase di Risk Evaluation. L'ultimo step di *risk treatment*, che prevede la definizione di appropriati interventi di riduzione del rischio [2016\_Clarke], non è stato implementato nell'attuale tool disponibile.

## 8.2. Approcci basati sul Climate Change

Per quanto riguarda i piani di adattamento nei confronti del cambiamento climatico, il settore dei trasporti è ancora piuttosto acerbo [2011\_Eisenack], anche a livello europeo, ma le linee guida e gli studi sono in rapido aumento [2014\_EEA] [2014\_UN Gruppo di esperti] [PNACC].

Infatti molte nazioni, tra cui Cina, Giappone, Nuova Zelanda, Norvegia, Canada e Scozia [2015\_Topolis\_Climate Change], hanno individuato la necessità di dotarsi di piani di adattamento per fronteggiare i problemi connessi al cambiamento climatico [2017\_Vallejo].

Inoltre dal 2014 nei piani e strategie a livello europeo è emersa la necessità di un pensiero volto alla resilienza e alle capacità di adattamento. Questa visione è stata trattata come segue:

- Austria, Svizzera e servizi aeroportuali in Francia hanno condotto studi sul tema della DHL (compagnia di trasporto merci internazionale);
- Francia, Inghilterra, Svizzera e Norvegia hanno attivato processi di revisione degli standard di progettazione, costruzione e manutenzione degli *assets* dei sistemi di trasporto;
- Le Linee Guida delle reti TEN-T sono state aggiornate ed approvate nel dicembre 2013, specificando che lo sviluppo delle reti deve considerare l'impatto dei cambiamenti climatici e degli eventi estremi di natura antropogenica. Le reti devono essere pianificate, sviluppate e operabili con un approccio che ottimizzi l'efficienza delle risorse considerando adeguatamente la vulnerabilità dei trasporti;
- All'interno delle comunicazioni EU relative alle linee guida per le procedure di VAS e di VIA. In particolare il documento "Guidance on Integrating Climate Change and Biodiversity into Strategic Environmental Assessment". descrive il tema della resilienza e della gestione adattiva come metodo di mitigazione dei cambiamenti climatici.

Nell'ambito specifico dei trasporti i documenti di riferimento, redatti a cura del Ministero di competenza, evidenziano una carenza della trattazione del tema dei cambiamenti climatici, su tutti i livelli: dalla progettazione climate-proof a strategie di manutenzione e di risk assessment; dalla definizione dei ruoli e delle competenze alla definizione di proposte esemplificative tipo grey, green e soft.

Un esempio sul quale sono già attive e consolidate ricerche scientifiche riguarda ad esempio l'analisi ed i criteri *climate-proof* dei manti stradali, progettuali e realizzativi, dei manti stradali per la realizzazione di superfici stradali che siano adattive rispetto ad eventi piovosi estremi ed agli effetti degenerativi delle ondate di calore. Il contributo su questi temi può potenzialmente essere favorito dalla creazione di gruppi di lavoro congiunti con *stakeholder* privati, quali i gestori autostradali, che per necessità sono già attivi su questo tipo di sperimentazioni [PNACC].



- Fase 2: Valutazione dei rischi e loro priorità
- Fase 3: Sviluppo e selezione di strategie e risposte di adattamento
- Fase 4: Integrazione dei risultati nel processo decisionale

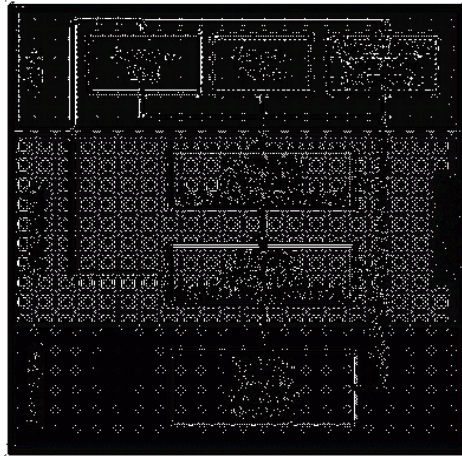


Fig. 15: Framework for Climate Adaptation and increased Resilience

La normativa comunitaria in campo trasportistico si limita soltanto a suggerire alcuni provvedimenti in tema di sicurezza stradale e ferroviaria. Le valutazioni di impatto, sulle quali sono basate le scelte strategiche degli itinerari, dovrebbero tenere conto anche degli impatti derivanti dai fattori climatici. [2015\_SNAC]

In Italia il primo punto per la definizione delle azioni e delle politiche di adattamento ai cambiamenti climatici è stato la pubblicazione della Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNAC). In questo documento sono stati individuati i principali impatti per una serie di settori socio-economici e naturali e sono state proposte azioni di adattamento a tali impatti. A Maggio 2016 è stata avviata l'elaborazione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC), il quale è il risultato di un processo di dialogo, coinvolgimento e interazioni multi-settoriali fra enti del territorio, decisori politici, esperti e ricercatori, con l'obiettivo ultimo di identificare un set di attività connesse e sinergiche per l'adattamento ai cambiamenti climatici.

### **8.2.2. Piano Nazionale di Adattamento Ai Cambiamenti Climatici (PNACC)**

Nel "Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici" del 2017 [2017\_PNACC] viene approfondita la definizione delle strategie di adattamento, ma rimane un documento ancora di natura strategica che sarà perfezionato con l'Accordo in sede di Conferenza Stato-Regioni. Il piano non vuole avere alcun carattere prescrittivo ma si propone come uno strumento aperto di continuo aggiornamento alle nuove conoscenze e alle esperienze maturate con la sua stessa applicazione [2015\_SNAC].

Il piano divide l'Italia in:



- **Macro-regioni climatiche:** sono state definite le caratteristiche climatiche, gli indicatori di esposizione, capacità adattativa e indice di propensione al rischio per ciascuna delle sei macroregioni climatiche omogenee terrestri e delle due marine, con un dettaglio a scala provinciale.
- **Settori socio-economici ed ambientali :** sono stati individuati 18 settori, e per ognuno sono state definite le principali minacce attese e gli impatti potenziali.

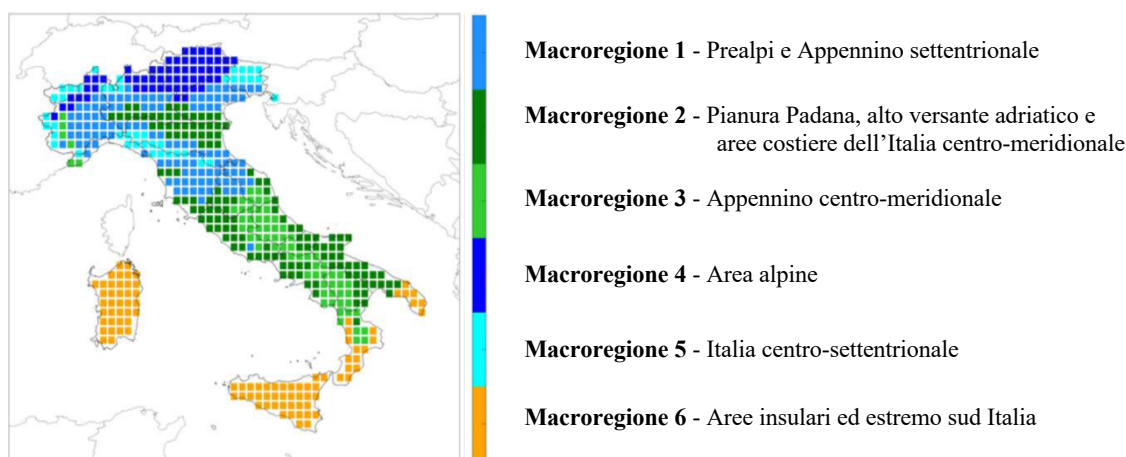


Fig. 16: Macro-regioni climatiche

Table 5: Settori socio-economici ed ambientali

Settori socio-economici ed ambientali	
1. Risorse idriche	10. Pesca marittima
2. Ambienti marini: biodiversità, funzionamento e servizi ecosistemici	11. Acquacoltura
3. Ecosistemi e biodiversità in acque interne e di transizione	12. Turismo
4. Zone costiere	13. Insediamenti urbani
5. Dissesto geologico, idrologico e idraulico	14. Infrastruttura critica - Trasporti
6. Desertificazione, degrado del territorio e siccità	15. Infrastruttura critica - Industrie e Infrastrutture pericolose
7. Ecosistemi terrestri	16. Infrastruttura critica - Patrimonio culturale
8. Foreste	17. Energia
9. Agricoltura e produzione alimentare	18. Salute

Il PNACC è strutturato in tre parti fondamentali:

- 1. Analisi di contesto, scenari climatici e vulnerabilità climatica:** Divisa in una sezione generale e una sezione specifica per ogni settore.
- 2. Azioni di Adattamento**
- 3. Strumenti per la partecipazione, il monitoraggio e la valutazione**

Lo schema seguente mostra la struttura con cui si articola il piano ed i suoi elementi essenziali.

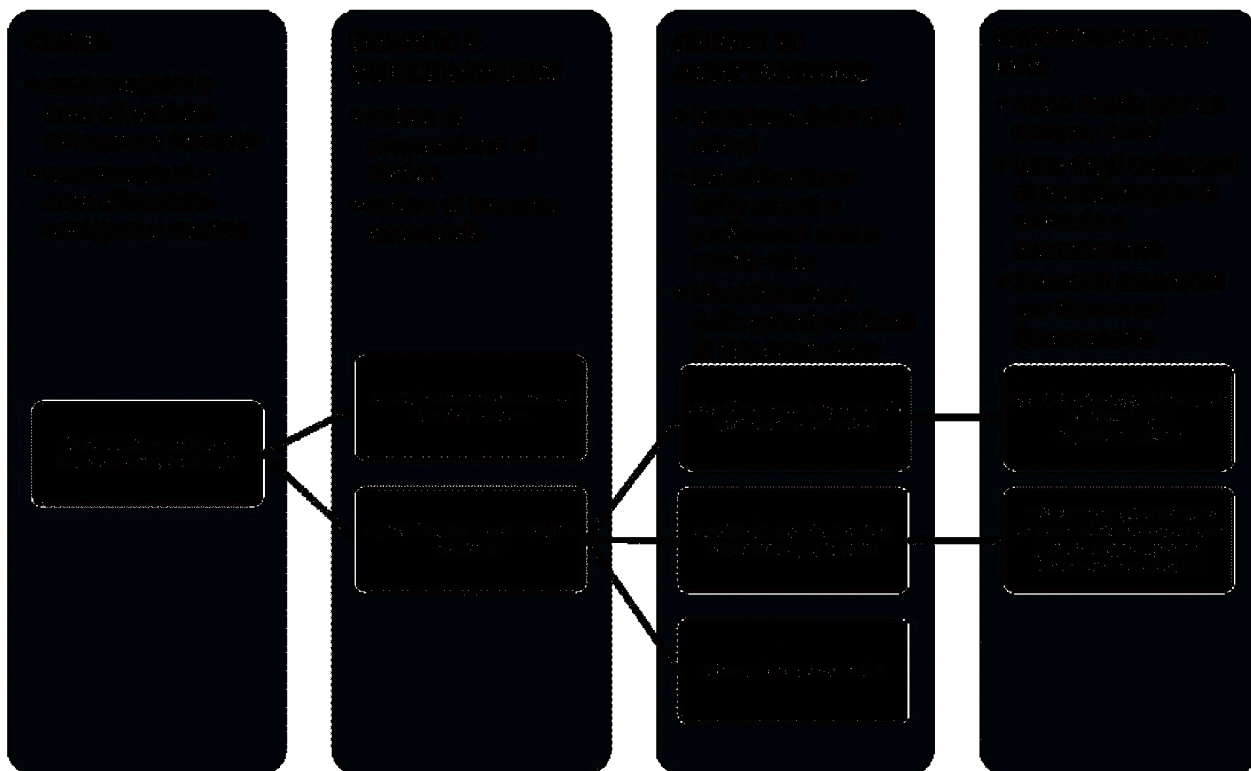


Fig. 17: Struttura del PNACC

### Analisi di contesto, scenari climatici e vulnerabilità climatica

Utilizzando l'approccio dell' "Intergovernmental Panel on Climate Change" del 2014 [2014\_IPCC] di cui è riportato lo schema in Fig. 18, nel PNACC è stato calcolato un indice sintetico di rischio bi-dimensionale per tutto il territorio italiano. L'indice combina l'"impatto potenziale" (dato da pericolosità, esposizione e sensitività) con la capacità adattiva.

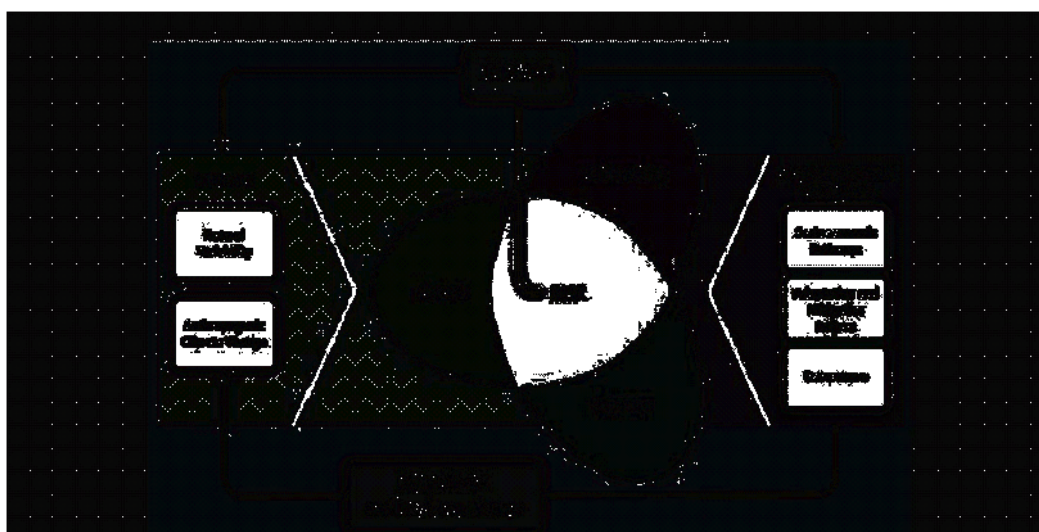


Fig. 18 Componenti fondamentali per la determinazione del rischio legato ai cambiamenti climatici: hazards (pericoli); exposure (esposizione); vulnerability (vulnerabilità) [fonte: IPCC, 2014].

Questa valutazione fornisce una prima base per identificare le aree a maggior rischio e di conseguenza quelle sulle quali concentrarsi maggiormente per sviluppare una valutazione più approfondita dei rischi attesi in relazione al cambiamento climatico (la valutazione basata sugli indicatori climatici può fornire indicazioni generali sull'entità degli impatti ma non può in nessun modo portare ad una stima dei danni provocati dal cambiamento climatico in Italia). [PNACC]



Fig. 19: Indice di rischio bi-dimensionale

Gli impatti attesi e le vulnerabilità dei singoli settori socio-economici e ambientali sono state trattate in una sezione dedicata, e i risultati sono basati sull'analisi della letteratura aggiornata e disponibile, sulle proiezioni climatiche per l'Italia e, in alcuni casi, sul calcolo di indicatori aggiuntivi e simulazioni modellistiche di maggior dettaglio per lo specifico settore.

Specificatamente al settore dell'infrastruttura critica dei trasporti nell'allegato 2, l'analisi documentale dei piani e programmi specifici del settore trasporti evidenzia una carenza della trattazione del tema dei cambiamenti climatici, su tutti i livelli: dalla progettazione *climate-proof* a strategie di manutenzione e di *risk assessment*, dalla definizione dei ruoli e delle competenze alla definizione di proposte esemplificative tipo *grey, green e soft*.

Dal diagramma proposto in [2002\_Mills and Andrey], in Fig. 20, viene messo in evidenza come gli elementi climatici contribuiscono ai rischi, che a loro volta influenzano i trasporti nelle infrastrutture, nelle operazioni e nella domanda.

Dal documento emerge la necessità di una analisi di rischio specifica per ogni caso di studio analizzato, che individui le vulnerabilità e criticità.

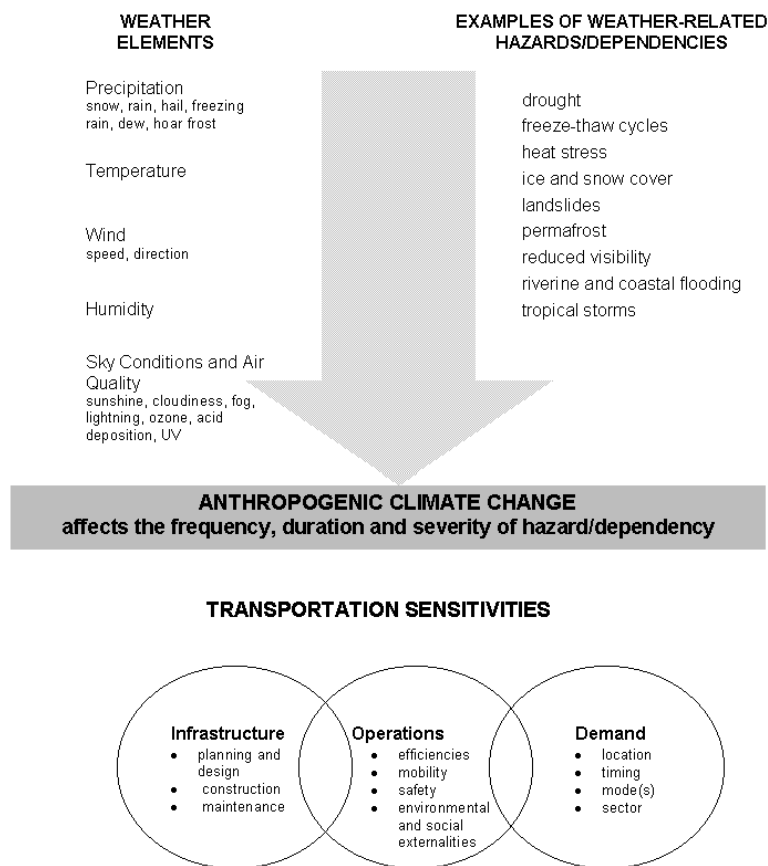


Fig. 20: Aspetti dei trasporti potenzialmente sensibili ai cambiamenti climatici.

### Azioni di Adattamento

Il set di misure di adattamento proposto è stato costruito secondo un approccio basato su casi accaduti, locali, ipotizzando una organizzazione strutturale di questi elementi di natura più strategica; pensata per essere ampliata ed arricchita nel tempo con successive revisioni ed integrazioni.

La resilienza richiede infatti conoscenze di base (monitoraggi e basi dati), master planning e progettazione integrata e sviluppo di tecnologie innovative, al fine di evitare il rischio di investire risorse in progetti non “*climate-proof*”.

L’approccio adattivo e resiliente si applica perfettamente ad una gestione degli *assets* attenta e continua, basata sulle analisi di rischio. Lo scenario adattivo ideale è rappresentato da un programma di manutenzione degli *assets* che tenga conto delle variazioni del contesto, anche climatiche, e che sia quindi in grado di “assorbire e metabolizzare” per adeguamenti successivi e programmati variazioni di lungo periodo all’interno dei normali programmi manutentivi, abbandonando quindi l’ottica del ripristino post evento e preparando gli *assets* preventivamente ad offrire le caratteristiche di resistenza necessarie.

Le misure di adattamento proposto sono accorpate come segue:

- **Conoscenza e informazione**

- Sensibilizzare gli attori dei grandi nodi infrastrutturali;
- Promuovere la ricerca e lo scambio internazionale relativamente a materiali e metodi *climate-proof*;
- Istituire sistemi di monitoraggio e di informazione all'utenza della strada ;
- Proporre indicatori per il monitoraggio degli impatti e delle vulnerabilità (automaticamente raccolti) e implementare sistemi integrati di analisi dei dati;

- **Gestione**

- Ottimizzare tecniche e procedure per la gestione delle emergenze;
- Incentivare l'ottimizzazione e l'organizzazione integrata in coordinamento con la Protezione Civile;
- Interventi sperimentali di adattamento e relativo monitoraggio;
- Promuovere programmi di verifica dello stato di manutenzione nelle infrastrutture più sensibili;
- Istituire un tavolo intersettoriale e multi-*stakeholder* per la definizione di criteri comuni, opzioni sinergiche e priorità di intervento;

- **Planning**

- Valutare possibili revisioni dei criteri pianificatori e/o progettuali;
- Valutare la sinergia ed i co-benefici della mobilità sostenibile (mitigazione ed adattamento);
- Introdurre all'interno delle prescrizioni progettuali / linee guida le sistemazioni green ed eco-sistemiche;
- Piano Nazionale contro il dissesto idrogeologico;
- Completare ed aggiornare le Linee Guida "Italia Sicura".

### **Strumenti per la partecipazione, il monitoraggio e la valutazione**

Nella terza parte del documento vi è una sezione dedicata alla definizione di un sistema di monitoraggio e valutazione. La fase di monitoraggio identifica gli specifici indicatori di efficacia ed esamina i progressi compiuti nell'attuazione delle iniziative di adattamento su un determinato arco di tempo. La valutazione si focalizza sulla loro efficacia, mentre il *reporting* consiste nel documentare e comunicare i risultati derivanti da uno qualsiasi di questi due processi.

## 8.3. Approcci basati sulla resilienza

### 8.3.1. Bruneau

Bruneau [2003\_Bruneau] è stato uno tra i primi autori a trattare il tema della resilienza, e con il seguente *framework* ha proposto un approccio di valutazione valido per comunità o infrastrutture soggette ad una minaccia di terremoto. Secondo l'autore il concetto di resilienza è associato alla sola curva di *recovery*, come mostrato in Fig. 3.

L'autore ha definito la resilienza in funzione di misure di tipo tecnico, organizzativo, sociale ed economico e misura le performance del sistema attraverso la robustezza, ridondanza, disponibilità di risorse e rapidità di risposta del sistema. La resilienza è stimata in termini di probabilità annua che il sistema può raggiungere nei confronti dei parametri: robustezza e rapidità. La differenza tra la probabilità annua del sistema, con e senza una azione di mitigazione del rischio, fornisce direttamente il miglioramento (di resilienza) che tale azione apporta al sistema.

Anche in questo *framework* viene evidenziata la necessità delle attività di monitoraggio e rilievo, sia nella fase pre-evento sia in quella post-evento. Quello proposto rimane un approccio di valutazione di resilienza, senza applicazioni di tipo pratico a scala di network o *assets*.

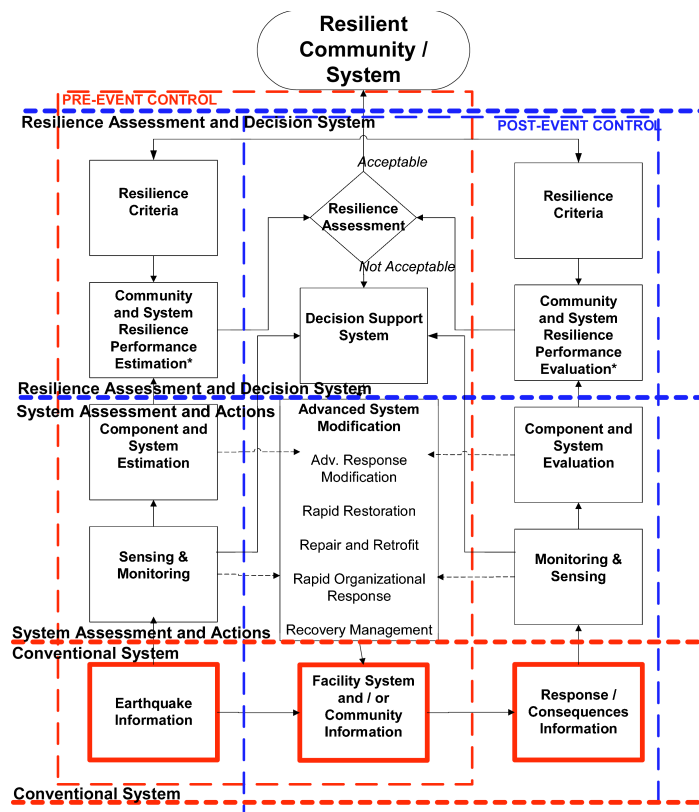


Fig. 21: Bruneau Framework

### 8.3.2. System-of-System approach

Una infrastruttura civile, o più ampiamente un territorio urbanizzato, può essere interpretata come un System-of-System (SoS) [2015\_Agarwal] [2014\_Mostafavi] [2016\_Liu], a causa dell'esistenza di numerose ed indipendenti interazioni presenti tra i componenti e le parti coinvolte nel suo utilizzo e gestione (utilizzatori e gestori).

Per questo l'infrastruttura può essere facilmente rappresentata attraverso un approccio di tipo gerarchico (AHP - Analytic hierarchy process) come è stato fatto in [2015\_Agarwal], [2014\_Mostafavi], [2016\_Liu].

Ogni singolo componente del sistema (*assets*) può essere inserito in un più ampio contesto di analisi, rendendo quindi il metodo applicabile ad ogni scala (*Asset level, Network level, Sub-national level, National level*) [2014\_Mostafavi].

Liu et al. [2016\_Liu], nel suo approccio gerarchico orientato ai *big-data*, propone un *framework* in cui ogni sistema e sotto-sistema è caratterizzato da un VI (*Vulnerability Index*), che può essere combinato con altri VI provenienti da altri settori, attraverso definiti criteri, al fine di calcolare un HVI (*Hierarchical Vulnerability Index*), rappresentativo della resilienza globale dell'intero SoS. Mostafavi et al. [2014\_Mostafavi], propone un approccio gerarchico per la definizione della resilienza. Entrambi sono potenzialmente sviluppabili su piattaforma GIS (*Geographical Information System*) e sono finalizzati alla scelta di decisioni pianificatorie per la gestione di una infrastruttura di trasporti (vedi Fig. 22).

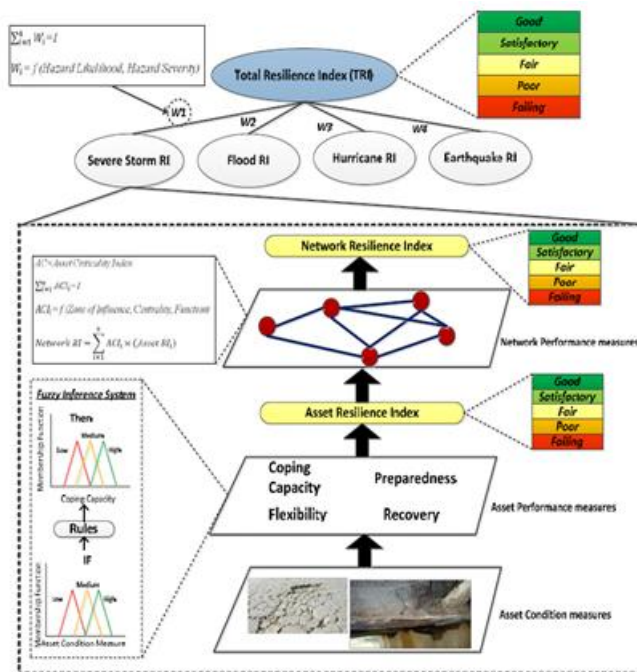


Fig. 22: AHP analysis of 2014\_Mostafavi

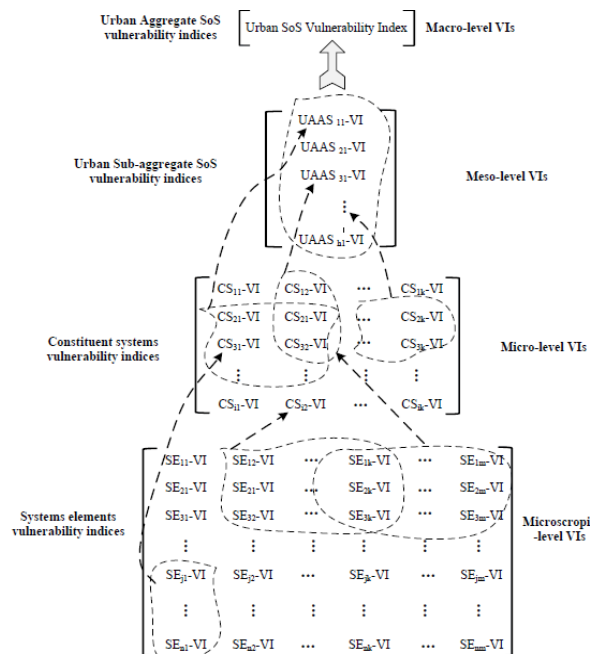


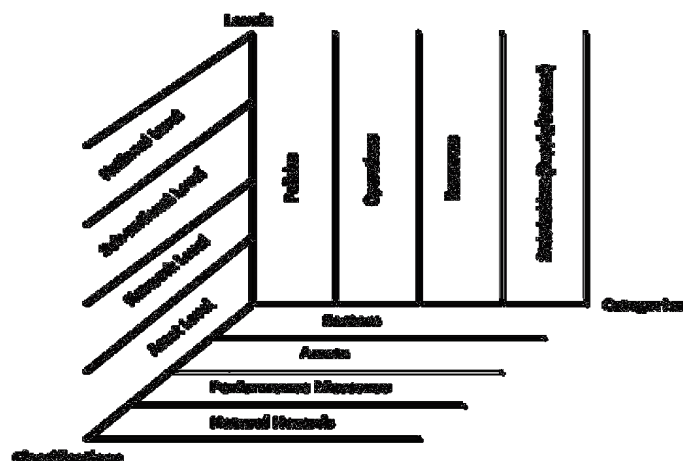
Fig. 23: HVI of 2016\_Liu

Il *framework* di Mostafavi et al. consente di definire una priorità delle azioni di incremento della resilienza, in relazione alla disponibilità di risorse, alla presenza di vincoli (politiche e regolamenti esistenti) e agli *stakeholders*. L'autore definisce il contesto del problema rispetto a:

- **Classificazione:** viene definito quale settore e quali *assets* devono essere presi in considerazione, le misure delle performance da utilizzare nella valutazione e quali sono le minacce a cui è soggetto il sistema ;
- **Categorie:** vengono scelti i fattori dell'analisi che influiscono sulla scelta delle azioni da intraprendere. Questi possono includere:
  - le *Resources*, le risorse non umane disponibili, fisiche o finanziarie, che possono semplificare le azioni di ripristino delle performance;
  - gli *stakeholders*, ovvero tutte le parti coinvolte nel processo di gestione dell'infrastruttura;
  - le *operations*, cioè le modalità di applicazione delle decisioni prese dagli *stakeholders* in relazione alle risorse;
  - le *Policies*, cioè quelle forze esterne che influiscono sulla disponibilità delle risorse o decisioni degli *stakeholders*;
- **Livelli di analisi:** viene definito il livello di dettaglio della valutazione, che può variare dalla scala di *assets* (considerando ogni componente del sistema infrastruttura) alla scala nazionale.

La ricerca proposta dall'autore fornisce un approccio di valutazione della resilienza basato sull'indice ARI (*Asset Resilience Index*), che però non è definito nel dettaglio per un utilizzo in casi pratici.





Dimensions of SoS Framework	Components of Analysis	Example of Assessment of Financing Policies in Highway Transportation Infrastructure
Classifications	Sectors	Highway transportation
	Assets	Roads, highways, and bridges
	Performance measures	Ability to provide access for evacuation and response support before and after a disaster
	Natural hazards	Storms, hurricanes, flood, and earthquakes
Categories	Resources	Capital (dollar)
	Stakeholders	Public infrastructure agencies, asset owners and operators, private entities, investment institutions, engineering and contracting companies, and general public
	Operations	Budget and resource allocation (supply side) and prioritization of rehabilitation and maintenance activities (demand side)
	Policies	Increase of pay-as-you-go capacity, increase of funding for debt financing, and expansion of public-private-partnership market
Levels	Asset	Asset resilience index (ARI)
	Network	Network resilience index (NRI)
	Sub-national	Total resilience index (TRI)

Fig. 24: Dimensioni e componenti di analisi [2014\_Mostafavi]

### 8.3.3. National Infrastructure Plan (New Zealand) - 2014

La “*New Zealand Transport Agency*” nel 2014 ha redatto uno studio per la valutazione della resilienza della rete di trasporti nazionale e per definire la priorità degli interventi da attuare. Lo studio è applicabile ad una ampia parte del sistema trasportistico (strade e ferrovie) e può essere utilizzato a diversa scala (*assets/network/region*) [2014\_NIP].

Lo studio è basato sul presupposto che la sola analisi di rischio non sia sufficiente a garantire una consapevolezza globale riguardo gli eventi imprevedibili, ma piuttosto che l’analisi di resilienza ne fornisca l’aspetto complementare. Con essa si ammette l’inevitabilità di possibili collassi del sistema, e fornisce uno strumento in grado di gestirli.

Nel documento sono trattati due approcci diversi, con i quali vengono individuate diversamente le criticità del sistema, nei confronti dei rischi:

- Approccio **All-Hazards** : scelto il componente da analizzare, viene definita una scala associata allo stato di manutenzione (o condizione) per ogni caratteristica. Da una parte viene definita la caratteristica per un “desiderato” livello di resilienza; dall’altra viene effettuata una valutazione dello stato attuale del componente. Dalla differenza tra le due misure si ottiene la resilienza del componente. Eseguendo l’analisi per tutti i componenti del sistema è possibile assegnare le priorità degli interventi in base alle criticità.

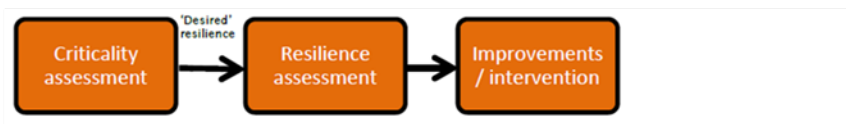


Fig. 25: All-Hazards approach

- **Hazard-specific**: questo tipo di analisi è fatto nei confronti di eventi specifici, e quindi richiede una conoscenza più approfondita delle caratteristiche dei pericoli a cui è soggetto il sistema. In questo caso il livello di resilienza “desiderato” viene confrontato con i risultati dell’analisi di rischio.



Fig. 26: Hazard-specific approach

L’approccio esegue una valutazione di tipo qualitativo, assegnando un punteggio a ciascun componente sia tecnico sia organizzativo. Gli aspetti tecnici sono legati alla resistenza del sistema, la sua ridondanza, e al *saif-to-fail*, parametro introdotto in [2013\_Park] che tiene in considerazione le imprevedibilità e possibilità di collassi dell’infrastruttura. Quelli organizzativi sono definiti dalla prontezza ai cambiamenti, dalla rete, dalla leadership e dalla cultura della popolazione. Questi aspetti, ripresi dagli studi di Bruneau [2003\_Bruneau] e Park [2013\_Park], considerano tutte le forze che entrano in gioco durante le fasi della calamità e che ne favoriscono il ripristino delle performance.

Nel documento viene quindi messo in evidenza che la resilienza non dipende solamente dalle caratteristiche di tipo organizzativo del sistema, ma anche da caratteristiche di tipo strutturale (come ad esempio lo stato di manutenzione della pavimentazione e la sua regolamentazione).

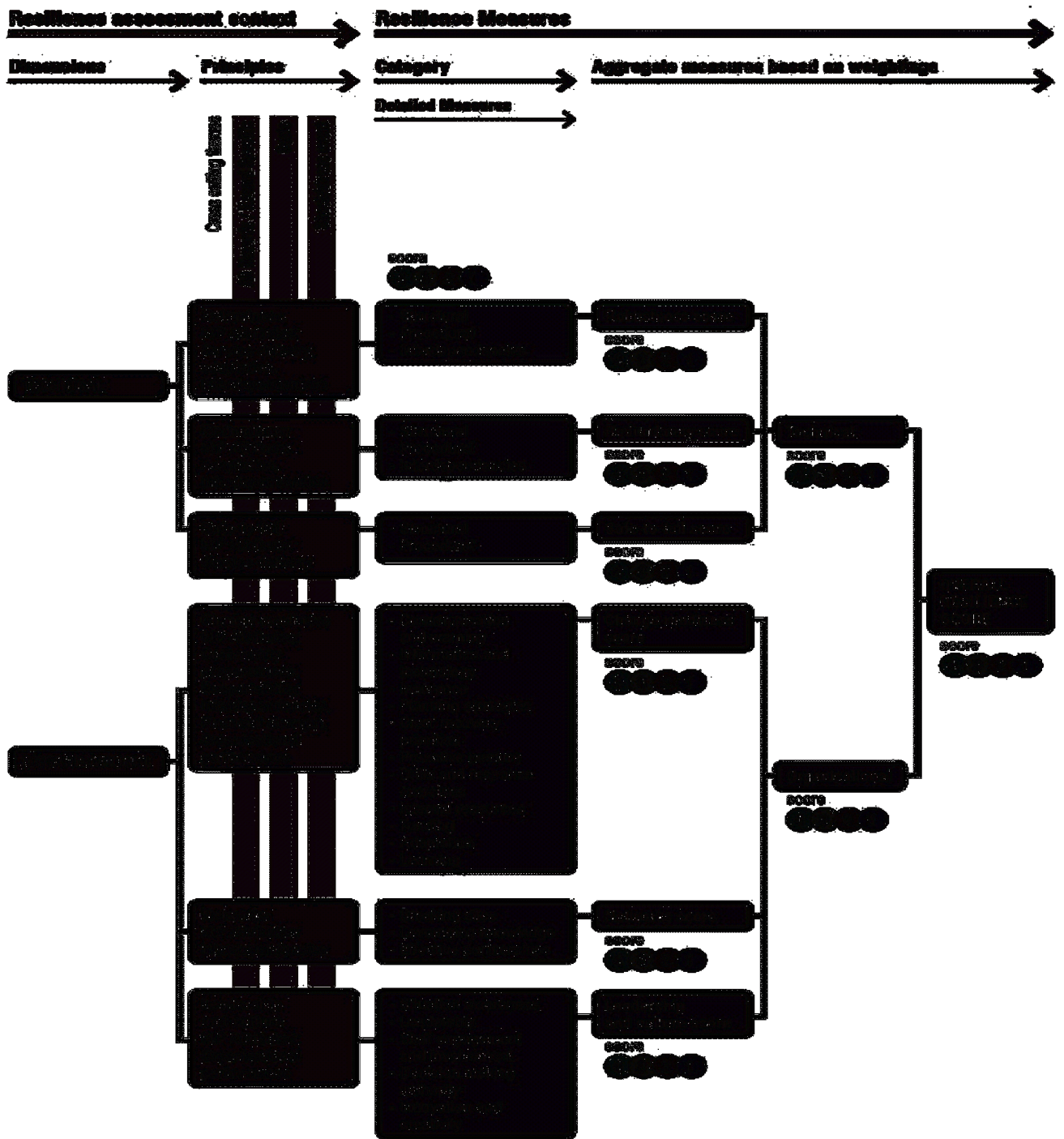


Fig. 27: Framework of resilience assessment [2014\_NIP]

## 9. Metodo proposto

Sulla base della bibliografia analizzata, è di seguito proposto un *framework*, finalizzato alla gestione della calamità, in seguito al manifestarsi di collassi e per la valutazione della resilienza del sistema infrastruttura.

Si tratta di un approccio di tipo iterativo (come mostrato in Fig. 28) che riprende quello utilizzato del "Climate Change Adaptation Strategy and Framework" del 2009 della Highways Authority [2009\_CCAF]. Il framework si propone di essere applicato a scala di network (o superiore).

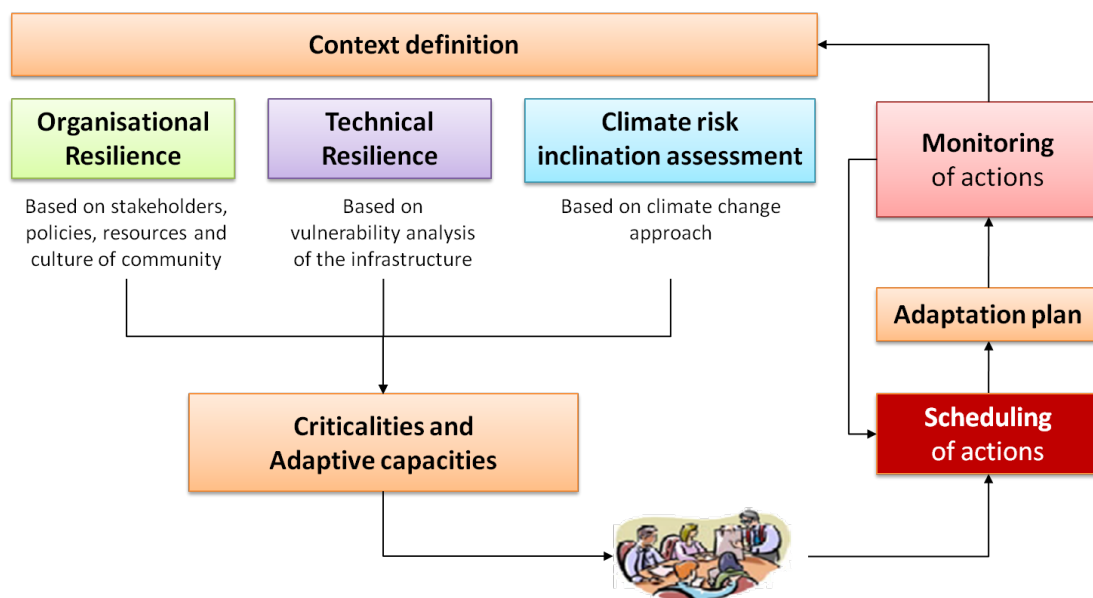


Fig. 28: Resilience assessment framework

Il concetto di rischio e di resilienza sono trattati in modo complementare, per fornire una panoramica generale riguardo la modalità di gestione di un sistema composto da molteplici aspetti interagenti tra loro - SoS (in accordo con [2014\_Faturechi]). Aspetti sia tecnici sia organizzativi sono considerati nell'analisi [2014\_NIP]; i primi influenzano principalmente il rischio e la vulnerabilità (e di conseguenza anche la resilienza [2015\_Agarwal]), mentre il secondo è il concetto essenziale di resilienza. Essi si riferiscono a tutte le fasi del *Disaster Life Cycle*.

La prima fase consiste in una definizione del contesto, con la quale vengono definite le caratteristiche del sistema seguendo lo schema utilizzato da [2014\_Mostafavi], dettagliato nel seguito.

I concetti legati al Disaster Risk ed al cambiamento climatico sono stati considerati, nonostante il primo comprenda già al suo interno il secondo [2015\_UNISDR]. È necessaria infatti un'analisi di vulnerabilità, indirizzata ad individuare criticità e adattabilità del sistema, nei confronti di eventi estremi specifici di origine sia antropica sia naturale (Approccio Hazard-specific del [2014\_NIP]). Questa analisi di vulnerabilità viene tenuta in considerazione nella resilienza di tipo tecnico, insieme alle caratteristiche topologiche del sistema.

La resilienza di tipo organizzativo tiene in considerazione tutti gli aspetti di tipo organizzativo e logistico che non dipendono da fattori tecnici legati alle caratteristiche intrinseche dell'infrastruttura. Considerano invece le capacità reattive della società al manifestarsi dell'evento, come ad esempio l'organizzazione del sistema di Protezione Civile. Infine l'analisi generale di propensione al rischio climatico è stata ripresa dal [PNACC], la quale fornisce una prima valutazione delle capacità adattive del territorio e criticità del sistema nei confronti dei rischi derivanti dal cambiamento climatico (Approccio All-Hazard del [2014\_NIP]).

Una volta individuate le criticità e capacità adattive del sistema è necessario instaurare un rapporto tra gli stakeholders al fine di definire una prioritizzazione degli interventi. Questa fase consiste nel definire un metodo per stabilire le azioni e la loro priorità di attuazione. Come suggerito dal PNACC si ritiene indispensabile individuare gli *stakeholders* coinvolti nel processo decisionale al fine di definire un criterio comune in relazione alle criticità individuate, le possibili capacità di adattamento del sistema, le risorse disponibili, i vincoli e le politiche esistenti. Infatti tutti i criteri decisionali che non possono essere stimati con un valore monetario necessitano di altri metodi decisionali [2013\_Preston] [2015\_El-Zein ].

Il Piano di adattamento sarà il documento in cui le azioni individuate sono ordinate in base alla loro priorità. Ogni azione sarà associata alla propria modalità di applicazione.

L'attività di monitoraggio è essenziale per avere un riscontro in termini di efficacia delle azioni intraprese [2018\_Caroti] o per fornire uno stato attuale necessario per i successivi cicli di analisi. Il [PNACC] fornisce procedure generali per il monitoraggio delle azioni, ma ognuna di esse richiede una procedura appropriata, da valutare appositamente. A seguito della valutazione dell'efficacia di ogni azione intrapresa è possibile cambiare la priorità degli interventi o eseguire una nuova iterazione del processo.

## 9.1. Definizione del contesto

Lo studio in oggetto prende in esame le infrastrutture civili legate al trasporto su strada. Sulla base di quanto detto da Mostafavi [2014\_Mostafavi] riportato in Fig. 24, ed adattandolo al caso in questione, il contesto può essere definito da:

- Livello di analisi;
- Classificazione del settore, assets, misure ed eventi perturbatori;
- Fattori che influiscono sui singoli assets.

### 9.1.1. Livello di analisi

Il Livello di analisi riguarda l'estensione della rete soggetta all'analisi (nazionale, sub-nazionale, di rete o di livello patrimoniale). Si ritiene che il presente approccio possa essere utilizzato per analisi a scala di network o superiore.

Nell'analisi devono essere analizzate le caratteristiche legate agli *assets* che compongono il sistema (di seguito specificati). Gli assets analizzati, e le relative misure delle performance, sono valutate differientemente per la resilienza organizzativa, tecnica e per la propensione al rischio climatico. Di seguito questi tre aspetti sono valutati in modo separato.

### 9.1.2. Classificazione

#### Sector

Il settore analizzato riguarda l'infrastruttura critica dei trasporti, limitatamente al trasporto su strada.

#### Assets and measures of performance

Al fine di ottenere un *framework* operativo è necessario tenere in considerazione tutti gli aspetti che concorrono a determinare la resilienza, come descritto precedentemente.

Per tale motivo la resilienza è stata divisa in tre parti differenti, caratterizzata ognuna da assets di diversa natura. La resilienza di tipo tecnico sfrutta la vulnerabilità come misura. Valutazioni di vulnerabilità settoriali sono già disponibili in letteratura in ogni settore dell'ingegneria civile (ad es. Vulnerabilità idraulica, dello stato della pavimentazione, condizioni del traffico, ecc ...), e molti autori hanno già suggerito tale misura per la valutazione della resilienza [2014\_Agarwal] [Khademi].

#### 9.1.2.1. Organisational resilience

La resilienza di tipo organizzativo può essere valutata considerando le categorie e gli assets individuati in Table 6. Questi sono stati ripresi ed ampliati dal [2014\_NIP].

Categoria	Asset
Change readiness	
	Communication and warning
	Information and technology
	Insurance
	Internal resources
	Planning strategies
	Clear recovery priorities
	Proactive posture
	Drills and response exercises
	Funding
	Situation awareness (sensing and anticipation)
Networks	
	Learning
	Breaking silos
	Leveraging knowledge (internal and external)
	Effective partnerships (external)
Leadership and culture	
	Leadership
	Staff engagement and involvement
	Decision making authority
	Innovation and creativity

Table 6. Organisational resilience assets

Le measures sono definite per ogni assets, ed ognuna di esse è associata ad una scala compresa tra 1 e 4. L'1 significa una situazione di maggiore pericolosità, mentre il 4 indica la situazione auspicabile.

Ogni assets può essere analizzato tenendo in considerazione le policies, stakeholders, resources e le operations indicate da Mostafavi [2014\_Mostafavi].

Le policies possono comprendere:

- Strategie o piani di adattamento / mitigazione del rischio;
- Piani di emergenza a livello comunale;
- politiche e procedure destinate alle organizzazioni.

Gli stakeholders sono tutti i soggetti, fisici o giuridici, direttamente o indirettamente coinvolti nel processo di gestione della calamità. Essi dipendono dall'area coinvolta e variano caso per caso.

Le Resources comprendono tutte quelle risorse non umane disponibili, fisiche o finanziarie che possono semplificare le azioni di ripristino delle performance del sistema.

Le *Operations* riguardano l'applicazione delle decisioni prese dagli stakeholders in relazione alle risorse disponibili. Per esempio le modalità di gestione e allocazione del budget per il ripristino o attività di manutenzione.

Nell'Allegato A sono riportate nello specifico le categorie, gli assets, le misure con relative scale riguardanti la resilienza di tipo organizzativo.

#### **9.1.2.1. Technical resilience**

La resilienza di tipo tecnico può essere divisa in una parte relativa alla redundancy nel network, e ad una parte relativa alle condizioni degli assets coinvolti.

Le caratteristiche di redundancy del network possono essere divise in:

- Network redundancy
- Alternate mode choice
- Redundancy/ alternate routes and modes capacity
- back up inventories and equipment
- Diversion and communication plan

Gli assets individuati nel Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici [PNACC] e dal *International climate change adaptation framework for road infrastructure* [2015\_Topolis\_Climate Change] entrano a far parte della analisi di vulnerabilità.



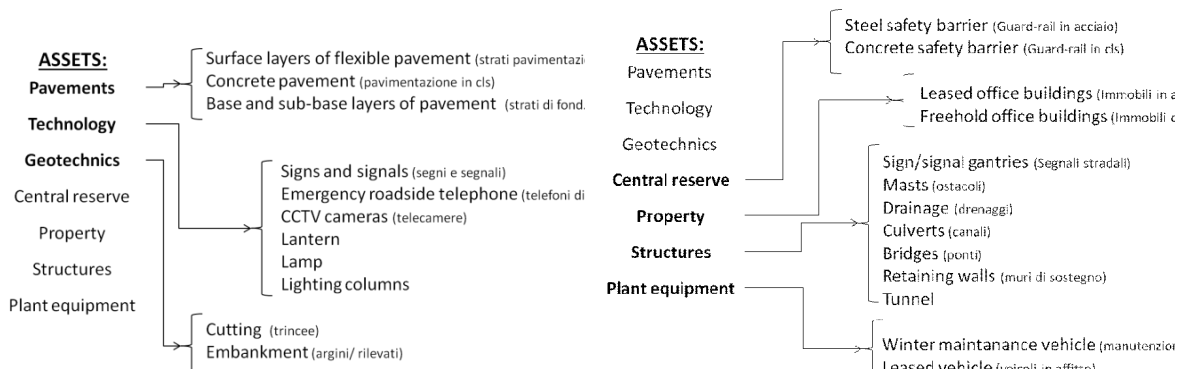
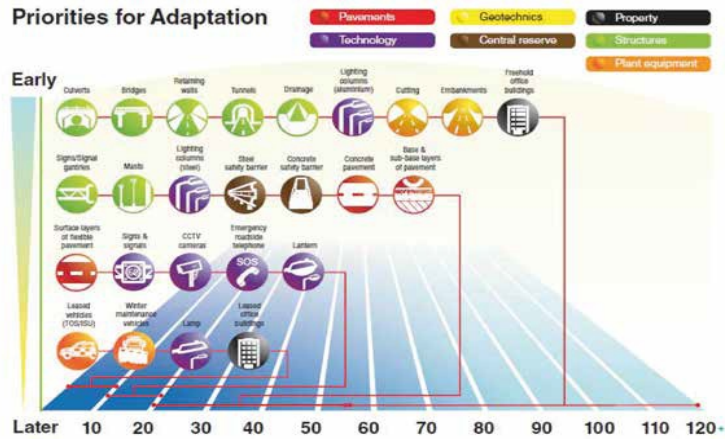


Fig. 29: Assets dell'infrastruttura di trasporto [2015\_Topolis\_Climate Change] [2017\_PNACC]

Si ritiene che gli assets che maggiormente contribuiscono alla resilienza, e che quindi debbano essere considerati nella valutazione, siano i seguenti:

- **Structures :**
  - o Sign/signal gantries (Segnali stradali)
  - o Masts (ostacoli)
  - o Drainage (drenaggi)
  - o Culverts (canali)
  - o Bridges (ponti)
  - o Retaining walls (muri di sostegno)
  - o Tunnel
- **Central reserve:**
  - o Steel safety barrier (Guard-rail in acciaio)
  - o Concrete safety barrier (Guard-rail in cls)
- **Pavements :**
  - o Surface layers of flexible pavement (strati pavimentazione)
  - o Concrete pavement (pavimentazione in cls)
  - o Base and sub-base layers of pavement (strati di fondo e sottofondo)
- **Geotechnics:**
  - o Cutting (trincee)
  - o Embankment (argini/ rilevati)
- **Technology**
  - o Signs and signals (segni e segnali)
  - o CCTV cameras (telecamere)

Per ogni asset deve essere condotta un'analisi di vulnerabilità settoriale che consenta di determinare criticità e adattabilità di ogni assets.

Nell'allegato B è riportata una analisi, seppur incompleta, degli aspetti che devono essere indagati per ottenere la resilienza di tipo tecnico. Questi sono stati ripresi ed ampliati dal [2014\_NIP].

### **Minacce – Eventi perturbatori**

Le minacce a cui si fa riferimento sono le seguenti:

- Alluvioni (floods),
- Piogge intense (Rainfall),
- Sisma (earthquake),
- Frane (landslides)

Il PNACC definisce inoltre le seguenti minacce naturali nei confronti delle quali l'infrastruttura dei trasporti risulta più sensibile:

- Rischio per pavimentazioni bagnate;
- Cedimento di argini e terrapieni;
- Erosione alla base dei ponti;
- Stabilità dei versanti.
- Diminuzione del mantenimento dei livelli di qualità ambientale (raffrescamento) nel trasporto pubblico su gomma e ferroviario in seguito ad ondate di calore.
- Espansioni termiche a strutture(ponti/viadotti);
- Surriscaldamento e deformazione e delle strutture ed infrastrutture di trasporto (asfalto, rotaie), in seguito alla presenza di ondate di calore.

#### **9.1.2.2. Analisi di propensione al rischio climatico**

Il "Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici" [PNACC] si basa su studi statistici storici e previsioni sui futuri impatti climatici.

Nel piano viene effettuata una valutazione della propensione verso i rischi climatici. Ogni provincia italiana è stata classificata in relazione all'indice di rischio bidimensionale. Questo indice combina l'impatto potenziale (definito da esposizione, sensibilità e pericolosità) con le caratteristiche del sistema, fornendo informazioni sulle criticità e sulle capacità di adattamento ambientale nel lungo termine.

Si faccia riferimento alla Fig. 19 per la classificazione.

Le precedenti analisi devono essere inserite in un'analisi AHP. Devono essere quindi scelti i pesi da attribuire ad ogni misura e categoria al fine di ottenere un indice di resilienza unico. Conclusioni

## 10. Conclusioni

---

In questo articolo è stata studiata la resilienza delle infrastrutture di trasporto. La resilienza è stata considerata sia come misura che come processo. È stata condotta un'analisi comparativa che mira a identificare le somiglianze e le differenze tra la terminologia di resilienza, vulnerabilità e sostenibilità. Queste misure trattano la resilienza in tre diverse sfumature e ciascuna si concentra su fattori e caratteristiche specifici.

Oltre all'approccio orientato al processo, è stato effettuato un confronto con il rischio di catastrofi e con gli approcci ai cambiamenti climatici. Nonostante il diverso approccio, tutti mirano a identificare le azioni al fine di migliorare la capacità di recupero del sistema.

Il miglioramento della resilienza del sistema può essere ottenuto analizzando i seguenti punti: esperienza di disastro del passato, leadership e cultura organizzativa, programmi di sostenibilità e ambientali e gestione patrimoniale e stato di buona riparazione.

In questo documento viene definito un metodo oligarchico, che considera sia il disaster risk, sia l'approccio legato ai cambiamenti climatici. L'obiettivo è quello di definire azioni migliorative a qualsiasi scala di applicazione (asset, network, livello sub-nazionale e nazionale), ma soprattutto per la scala di network.

Prima di tutto è necessario definire il contesto, per stabilire quali aspetti sono coinvolti nelle infrastrutture di trasporto riguardanti il livello di estensione dell'analisi, la classificazione (settori, attività, rischi e misure di rendimento) e le categorie (politiche, operazioni, risorse e parti interessate).

Attraverso la definizione della resilienza organizzativa, la resilienza tecnica e la valutazione della propensione al rischio climatico è possibile identificare le criticità e le capacità adattative del sistema, pianificando la priorità delle azioni migliorative, e conseguentemente l'allocazione delle risorse, in relazione agli stakeholder, risorse disponibili, politiche e operazioni.

Per quanto riguarda la resilienza tecnica, l'analisi della vulnerabilità è necessaria per valutare le caratteristiche tecniche delle risorse e della rete del sistema. La resilienza organizzativa richiede un'analisi caso per caso per valutare le caratteristiche ambientali riguardanti la conoscenza e l'informazione della comunità, i processi per la gestione dei disastri e le strategie di pianificazione.

Il piano di adattamento è ottenuto alla fine del framework, in cui è riportato un elenco delle azioni e delle sue informazioni applicative. Inoltre, il monitoraggio delle risposte delle azioni è essenziale per avere un riscontro in termini di efficacia delle azioni intraprese, al fine di definire lo stato corrente o modificare la priorità degli interventi.

Quindi, per applicare questo framework è necessaria una vasta conoscenza ambientale, sia tecnica che organizzativa, per considerare tutti gli sforzi che contribuiscono alla reazione alle catastrofi.

Inoltre negli allegati sono fornite alcune indicazioni delle categorie e degli assets che devono essere analizzati al fine di definire il contesto di analisi in modo quantomeno esaustivo.

## **11. Ringraziamenti**

---

Il presente lavoro è stato finanziato dall'Università di Pisa per mezzo dei fondi "PRA - Progetti di Ricerca di Ateneo" - PRA\_60\_2017\_ "Sicurezza e resilienza delle infrastrutture civili"

## 12. Bibliografia

---

- [2006\_Aban] Aban IB, Meerschaert MM, Panorska AK. Parameter estimation for the truncated Pareto distribution. *Journal of the American Statistical Association*, 2006; 101(473):270–277.
- [2013\_Park] Park, J, TP Seager, PSC Rao, M Convertino and I Linkov (2013) Integrating risk and resilience approaches to catastrophe management in engineering system. *Risk Analysis* 33, no.3: 356–367.
- [1973\_Holling] Holling CS. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973; 4:1–23.
- [2014\_NIP] Hughes, J.F. and Healy, K., 2014. Measuring the resilience of transport infrastructure (No. 546) ISBN/ISSN: 78-0-478-41915-3
- [2012\_Chelleri] Lorenzo Chelleri, A. K. (2012). Multidisciplinary perspectives on urban resilience. Lorenzo Chelleri and Marta Olazabal. ISBN: 978-84-695-6025-9
- [2001\_Carpenter] Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., and Abel, N. 2001. From metaphor to measurement: Resilience of what to what? *Ecosystems* 4(8): 765–781.
- [2014\_Comes] Comes, Tina, and Bartel Van de Walle. Measuring disaster resilience: The impact of hurricane sandy on critical infrastructure systems. ISCRAM. 2014.
- [2015\_Agarwal] Agarwal, J. (2015). Improving resilience through vulnerability assessment and management. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 32(1-2), 5-17.
- [2003\_Bruneau] Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., ... & Von Winterfeldt, D. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake spectra*, 19(4), 733-752.
- [2009\_IPPR] IPPR. 2009. Shared Responsibilities: A National Security Strategy for the UK. London: Institute for Public Policy Research. <http://www.ippr.org/publications/shared-responsibilities-a-national-security-strategy-for-the-uk>.
- [2014\_Wang] Wang, Y., & Yu, Q. K. (2014). A resilience engineering framework: Adapting to extreme events. In *Vulnerability, uncertainty, and risk: Quantification, mitigation, and management* (pp. 948-957).
- [2014\_Faturechi] Faturechi, R., & Miller-Hooks, E. (2014). Measuring the performance of transportation infrastructure systems in disasters: A comprehensive review. *Journal of infrastructure systems*, 21(1), 04014025.
- [2014\_Hughes] Hughes, J. F., & Healy, K. (2014). Measuring the resilience of transport infrastructure (No. 546).
- [2014\_Agarwal] Agarwal, J., Liu, M., & Galvan, G. (2014). Vulnerability and Resilience of Networked Infrastructures. In *Vulnerability, Uncertainty, and Risk: Quantification, Mitigation, and Management* (pp. 2811-2820).
- [2013\_Petit] Petit, F. D. P., Bassett, G. W., Black, R., Buehring, W. A., Collins, M. J., Dickinson, D. C., ... & Phillips, J. A. (2013). Resilience measurement index: An indicator of critical infrastructure resilience (No. ANL/DIS-13-01). Argonne National Laboratory (ANL).

[2011\_Cabinet Office] Cabinet Office (2011) Keeping the country running: natural hazards and infrastructure, Cabinet Office, London, UK, Crown Copyright. See [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/61342/natural-hazards-infrastructure.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/61342/natural-hazards-infrastructure.pdf)

[2010\_Vugrin] Vugrin, E. D., Warren, D. E., Ehlen, M. A., & Camphouse, R. C. (2010). A framework for assessing the resilience of infrastructure and economic systems. In Sustainable and resilient critical infrastructure systems (pp. 77-116). Springer Berlin Heidelberg.

[2017\_Cen Nan] Nan, C., & Sansavini, G. (2017). A quantitative method for assessing resilience of interdependent infrastructures. Reliability Engineering and System Safety, 157, 35-53.

[2015\_Topolis\_Climate Change] ]Topolis, C. (2015). International climate change adaptation framework for road infrastructure (No. 2015R03EN).

[2009\_CCAF] Highways Authority (2009) Climate Change Adaptation Strategy and Framework

Available at: [http://assets.highways.gov.uk/about-us/climate-change/CCAF\\_Strategy\\_and\\_Vol\\_1\\_Rev\\_B\\_Nov.pdf](http://assets.highways.gov.uk/about-us/climate-change/CCAF_Strategy_and_Vol_1_Rev_B_Nov.pdf)

[2012\_IPCC] IPCC Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds Field, C. B. et al.) 582 (Cambridge Univ. Press, 2012).

[2014\_IPCC] Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

[2014a\_IPCC ] Annex II: Glossary [Agard, J., E.L.F. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, C. Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M.J. Prather, M.G. Rivera-Ferre, O.C. Ruppel, A. Sallenger, K.R. Smith, A.L. St. Clair, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, and . In: Barros VR, Field CB, Dokken DJ, et al. (eds) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp 1757–1776

[2017\_PNACC] Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici

[Sendai] Sendai Framework on Disaster Risk Reduction 2015-2030. [https://www.preventionweb.net/files/43291\\_sendaiframeworkfordrren.pdf](https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf)

[2009\_UNISDR] UNISDR (United Nations International Strategy for Risk Reduction) 2009a. UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction 2009.

[2005\_UNISDR] UNISDR, (2005). Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters, United Nations, Geneva

[2015a\_UNISDR] UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), 2015a. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015.

- [2017\_UNISDR] United Nations Plan of Action on Disaster Risk Reduction for Resilience Towards a Risk-informed and Integrated Approach to Sustainable Development
- [2017a\_UNISDR] UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), 2017, Words into Action Guidelines Governance System, Methodologies, and Use of Results.
- [2016\_Clarke] CLARKE, Julie; OBRIEN, Eugene. A multi-hazard risk assessment methodology, stress test framework and decision support tool for transport infrastructure networks. *Transportation Research Procedia*, 2016, 14: 1355-1363.
- [2015\_Khademi] KHADEMI, Navid, et al. Transportation network vulnerability analysis for the case of a catastrophic earthquake. *International journal of disaster risk reduction*, 2015, 12: 234-254.
- [2009\_NIPP] NIPP, National Infrastructure Protection Plan, US Dept. of Homeland Security, p. 175, USA, 2009.
- [2015\_Tucker] Tucker, M. (2015). novel indicators for identifying critical INFRAstructure at RISK from natural hazards. *Planet@ Risk*, 3(2).
- [2014\_INFRARISK] D'Ayala, D. & Gehl, P., 2014. INFRARISK Deliverable D3.1 Hazard Distribution Matix, s.l.: European Comission.
- [2010\_Rees] Rees, W. E. 2010. "Thinking Resilience." Post Carbon Institute. <http://www.postcarbon.org/publications/thinkingresilience/>.
- [2014\_Linkov] Linkov I, Creutzig F, Decker J, Fox-Lent C, Kröger W, et al. Risking Resilience: Changing the Paradigm. *Nature Climate Change*. 2014;4: 407-9.
- [2012\_Ouyang] Ouyang M, Dueñas-Osorio L, Min X. A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems. *Structural Safety*. 2012;36–37:23-31.
- [2013\_Bridges]. Bridges, T. et al. Coastal risk reduction and resilience (US Army Corps of Engineers, 2013).
- [2011\_Godshalk] Godshalk, D. R. (2011). "21st Century Study Course: Breaking the Disaster Cycle: Future Directions in Natural Hazard Mitigation - History of Disaster Policy, Mitigation, Ethics, Studies, Plans." US Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, DC.
- [2002\_Alexander] Alexander, D. E. (2002). *Principles of Emergency Planning and Management*, Terra Publishing, Harpenden.
- [1999\_Mileti] Mileti, Dennis. *Disasters by design: A reassessment of natural hazards in the United States*. Joseph Henry Press, 1999.
- [2012\_Johnstone] Johnstone, William McAdam. Life safety modelling framework and performance measures to assess community protection systems: application to tsunami emergency preparedness and dam safety management. 2012.
- [2016\_Liu] LIU, Shiyong; TRIANTIS, Konstantinos P.; XU, Judy. Reengineering urban operations management and administration by constructing and using urban hierarchical vulnerability indices: An implication of system of systems and big data. In: *Systems Conference (SysCon), 2016 Annual IEEE*. IEEE, 2016. p. 1-6.

- [2010\_Taleb] Taleb, N (2010) *The black swan: the impact of the highly improbable*. 2nd ed. New York: Random House
- [2010\_McEntire] McEntire, D., C. G. Crocker, and E. Peters. 2010. "Addressing Vulnerability through an Integrated Approach." *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment* 1 (1): 50–64. doi:10.1108/17595901011026472.
- [2004\_Popper] Popper, S., Bankes, S., Callaway, R., and DeLaurentis, D., *System-of-Systems Symposium: Report on a Summer Conversation*, July 21–22, 2004, Potomac Institute for Policy Studies, Arlington, VA.
- [2014\_UN Expert group] UN Expert group (2014) *Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks*.
- [2005\_US\_Hyogo Framework for Action] *International Strategy for Disaster Reduction, 2005. International Strategy for Disaster Reduction, 2005. Hyogo Framework for Action 2005–2015: Building the resilience of nations and communities to disasters: United Nations*.
- [2015\_SNACC] *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNAC)* <http://www.minambiente.it/notizie/strategia-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-0> - decreto direttoriale n.86 del 16 giugno 2015
- [2012\_USDOT] *Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase II*. US Department of Transportation Center for Climate Change and Environmental Forecasting, Washington DC, USA
- [2013\_White] WHITE, Richard. *Towards a computational unified homeland security strategy: an asset vulnerability model*. University of Colorado at Colorado Springs, 2013.
- [2017\_Pisarenko] Pisarenko, V. F., Rodkin, M. V., & Rukavishnikova, T. A. (2017). Probability estimation of rare extreme events in the case of small samples: Technique and examples of analysis of earthquake catalogs. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 53(6), 805-818. 10.1134/S1069351317060040
- [1998\_Bassi] Bassi, F., Embrechts, P., and Kafetzaki, M., *Risk management and quantile estimation*, in *A Practical Guide to Heavy Tails*, Adler, R., Feldman, R., and Taqqu, M., Eds., Boston: Birkhauser, 1998, pp. 111–130.
- [1997\_Embrechts] Embrechts, P., Kluppelberg, C., and Mikosch, T., *Modelling Extremal Events*, Berlin: Springer, 1997.
- [1997\_Reiss and Thomas] Reiss, R.D. and Thomas, M., *Statistical Analysis of Extreme Values*, Basel: Birkhauser, 1997.
- [2002\_Green] Green, W. G. (2002). "Four phases of emergency management. Electronic encyclopedia of civil defense and emergency management." (<http://www.richmond.edu/~wgreen/encyclopedia.htm>) (Jan. 10, 2013).
- [2016\_Shipper] Schipper, E. Lisa F., et al. "Linking disaster risk reduction, climate change and development." *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment* 7.2 (2016): 216-228.
- [2006\_Levina and Tirpak] Levina, E and D Tirpak (2006) *Adaptation to climate change: key terms*. Report for the Organisation for Economic Co-operation and Development and International Energy Agency.



- [2011\_AECOM] AECOM, Arcadis, US Department of Transportation, Metropolitan Transportation Commission, Caltrans, Bay Conservation and Development Commission (2011) Adapting to rising tides: transportation vulnerability and risk assessment pilot project. Briefing book, November 2011. Accessed 23 November 2013. [www.mtc.ca.gov/planning/climate/Rising\\_Tides\\_Briefing\\_Book.pdf](http://www.mtc.ca.gov/planning/climate/Rising_Tides_Briefing_Book.pdf)
- [2011\_Engle] Engle, NL (2011) Adaptive capacity and its assessment. *Global Environmental Change* 21: 647–656.
- [2017\_The Global Risk] World Economic Forum®. The Global Risks Report 2017 12th Edition [http://www3.weforum.org/docs/GRR17\\_Report\\_web.pdf](http://www3.weforum.org/docs/GRR17_Report_web.pdf) - ISBN: 978-1-944835-07-1
- [2015\_Flannery] Flannery, Aimee, et al. "Risk and Resilience Analysis for Emergency Projects." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2532 (2015): 74-82.
- [2011\_Eisenack] Eisenack K, Stecker R, Reckien D, Hoffmann E (2011) Adaptation to climate change in the transport sector: a review of actions and actors. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 17:451–469. doi: 10.1007/s11027-011-9336-4
- [2014\_EEA] EEA (2014) Adaptation of transport to climate change in Europe - Challenges and options across transport modes and stakeholders- EEA Report No 8/2014.
- [2002\_Mills and Andrey] Mills B, Andrey J (2002) Climate Change and Transportation: Potential Interactions and Impacts.
- [2018\_Marchese] Marchese, Dayton, et al. "Resilience and sustainability: Similarities and differences in environmental management applications." *Science of the Total Environment* 613 (2018): 1275-1283.
- [2012\_NRC] National Research Council, 2012. *Disaster Resilience: A National Imperative* (2012). National Academies Press, Washington, D.C.
- [2016\_Folke] Folke, C., 2016. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.8>.
- [2013\_Collier] Collier, Z., Wang, D., Vogel, J.T., Tatham, E.K., Linkov, I., 2013. Sustainable roofing technology under multiple constraints: a decision analytic approach. *Environment, Systems, Decisions* 33, 261–271.
- [2014\_Bocchini] Bocchini, Paolo, et al. "Resilience and sustainability of civil infrastructure: Toward a unified approach." *Journal of Infrastructure Systems* 20.2 (2013): 04014004.
- [2014\_Redman] Redman, Charles L. "Should sustainability and resilience be combined or remain distinct pursuits?." *Ecology and Society* 19.2 (2014).
- [2014\_Hagelsteen ] Hagelsteen, Magnus, and Per Becker. "A great Babylonian confusion: terminological ambiguity in capacity development for disaster risk reduction in the international community." 5th International Disaster and Risk Conference (IDRC), Global Risk Forum. 2014.
- [2010\_Chang] L. CHANG, *Transportation system modeling and applications in earthquake engineering*, Urbana, Illinois: PhD Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2010.

- [2013\_Preston] Preston, B. L., Maloney, M., Thomsen, D., Smith, T., Mangoyana0, R., & Conlon, B. (2013). A Multi-Criteria Analysis of Coastal Adaptation Options for Local Government (p. 89). Retrieved from [http://www.sydneycoastalcouncils.com.au/sites/default/files/MCA\\_of\\_Coastal\\_Adaptation\\_Options\\_for\\_Local\\_Government.pdf](http://www.sydneycoastalcouncils.com.au/sites/default/files/MCA_of_Coastal_Adaptation_Options_for_Local_Government.pdf)
- [2015\_ El-Zein ] El-Zein, A., & Tonmoy, F. N. (2015). Assessment of vulnerability to climate change using a multi-criteria outranking approach with application to heat stress in Sydney. *Ecological Indicators*, 48, 207–217. doi:10.1016/j.ecolind.2014.08.012
- [2016\_ El-zein] El-Zein, A. 2016, "Resilience and vulnerability to climate change: Challenges of temporal and geographical scales for geotechnical engineering", *Australian Geomechanics Journal*, vol. 51, no. 2, pp. 65-76.
- [2018\_Caroti] Caroti, G.; Piemonte, A.; Pieracci, Y., 2018. Low-altitude UAV-borne remote sensing in dunes environment: shoreline monitoring and coastal resilience. *Computational Science and Its Applications. Lecture Notes in Computer Science*, Springer
- [2017\_Contestabile] Contestabile J, Radow L. Resilience Thinking and Future Research: Beyond Quick Fixes. *TR News*. 2017 Sep(311).
- [2014\_Faturechi\_PHD] Faturechi, R., 2013. Resilience of transportation infrastructure systems: Quantification and optimization (Doctoral dissertation, University of Maryland, College Park).
- [2017\_Wakeman] Wakeman T, Contestabile J, Knatz G, Anderson WB. Governance and Resilience: Challenges in Disaster Risk Reduction. *TR News*. 2017 Sep(311).
- [2017\_APA] APA Help Center. The Road to Resilience. American Psychological Association, Washington, D.C., 2017. [www.apa.org/helpcenter/road-resilience.aspx](http://www.apa.org/helpcenter/road-resilience.aspx).
- [2016\_Academies. National Academies of Sciences]. Resilience @ the Academies. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Washington, D.C., 2016. [www.nationalacademies.org/topics/resilience/](http://www.nationalacademies.org/topics/resilience/).
- [2015\_Cauffman ]. Cauffman, S. Community Resilience Guide. National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., 2015. <https://www.nist.gov/el/resilience/community-resilience-planning-guide>.
- [2014\_Organisation for Economic Co-operation and Development]. Boosting Resilience Through Innovative Risk Governance. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 2014. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264209114-en>.

[2013\_Cutter] Cutter SL, Ahearn JA, Amadei B, Crawford P, Eide EA, Galloway GE, Goodchild MF, Kunreuther HC, Li-Vollmer M, Schoch-Spana M, Scrimshaw SC. Disaster resilience: A national imperative. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*. 2013 Mar 1;55(2):25-9.

[2001\_White] White, Gilbert, Robert Kates, and Ian Burton. 2001. "Knowing better and losing even more: the use of knowledge in hazards management." *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards* 3:81-92.

[2006\_OECD] OECD/DAC, (2006). *The Challenge of Capacity Development - Working Towards Good Practice*, OECD/Development

Assistance Committee, Paris.

[2005\_Schulz ] Schulz, Karin; Gustafsson, Ingemar; Illes, Erik (2005). *Manual for Capacity Development*, Sida, Stockholm.

[2015\_NIST] Gilbert SW, Butry DT, Helgeson JF, Chapman RE. *Community resilience economic decision guide for buildings and infrastructure systems*. NIST Special Publication. 2015 Dec 30;1197.

[2014\_Aldrich] Aldrich, D. P., and M. Meyer. *Social Capital and Community Resilience*. *American Behavioral Scientist*, Vol. 59, No. 2, pp. 245–269, 2014.

[TCRP\_Vol 2] Matherly D, Carnegie JA, Mobley J. *Improving the Resilience of Transit Systems Threatened by Natural Disasters, Volume 2: Research Overview*. 2017 May.

[TCRP\_Vol 3] Amdal J, Ankner W, Callahan T, Carnegie JA, MacLachlan J, Matherly D, Mobley J, Peterson E, Renne J, Schwab J, Venner M. *Improving the Resilience of Transit Systems Threatened by Natural Disasters, Volume 3: Literature Review and Case Studies*. 2017 May.

[TBR\_174] Roberts, Howard, Richard Retting, Tom Webb, Ashley Colleary, Brian Turner, Xinge Wang, Roger Toussaint, Gwynn Simpson, and Claudia White. 2015. *TCRP Report 174: Improving Safety Culture in Public Transportation*. Washington, D.C.: Transportation Research Board of the National Academies.

[2011\_Hodges] Hodges, Tina. 2011. *Flooded Bus Barns and Buckled Rails: Public Transportation and Climate Change Adaptation*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Transit Administration.

[2016\_Stergiopoulos] Stergiopoulos, G., Vasilellis, S., Lykou, G., Kotzanikolaou, P. and Gritzalis, D., 2016, March. *Critical Infrastructure Protection tools: Classification and comparison*. In *Proc. of the 10th International Conference on Critical Infrastructure Protection*.

[2012\_Ouyang ] Ouyang M, Dueñas-Osorio L, Min X. *A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems*. *Structural Safety*. 2012;36–37:23-31.

[2011\_ US Dept] US Dept. of Homeland Security and National Institute of Standards and Technology, Modeling and Simulation of Critical Infrastructure Systems for Homeland Security Applications, Workshop on Homeland Security Modeling & Simulation, June 2011.

[2009\_NIAC] <https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/niac-critical-infrastructure-resilience-final-report-09-08-09-508.pdf>

[2016\_ Gaitanidou ] Gaitanidou, E., Tsami, M., & Bekiaris, E. (2017). A review of resilience management application tools in the transport sector. *Transportation research procedia*, 24, 235-240.

[2015\_Morelli] F. Braga, F. Morelli, W. Salvatore (2015), "A Macroseismic Approach for the Evaluation of Seismic Risk", Proceedings of the Fifteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, J. Kruis, Y. Tsompanakis and B.H.V. Topping, (Editors), Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland 10.4203/ccp.108.91

[2003\_Brooks] Brooks, N. (2003). Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper, 38, 1-16.

[2018\_Caroti\_ICCSA] Caroti, G.; Piemonte, A.; Pieracci, Y., 2018. Low-altitude UAV-borne remote sensing in dunes environment: shoreline monitoring and coastal resilience. *Computational Science and Its Applications. Lecture Notes in Computer Science*, Springer

[2015\_Farina] Farina A, Gazzarri A, Lupi M, Pratelli A. Resource planning in risky environments. *WIT Transactions on The Built Environment*. 2015 Jun 2;146:131-42.

[2006\_Thomalla] Thomalla, F., Downing, T., Spanger-Siegfried, E., Han, G. and Rockström, J., 2006. Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation. *Disasters*, 30(1), pp.39-48.

[2017\_deStasio] de Stasio, C., C. Chiffi, A. Sitran, R. Parolin, S. Maffi, C. Doll, L. Mejiia-Dorantes, K. Watchter, G. Horton, M. Biedka, H. Bruhova, and I. Skinner. *Transport Infrastructure: Research Theme Analysis Report*. European Commission, Brussels, Belgium, 2017. [www.transport-research.info/theme-analysis-reports](http://www.transport-research.info/theme-analysis-reports)

[2011\_London] Transport for London - Providing Transport Services Resilient to Extreme Weather and Climate Change , 2011. <http://www.energyforlondon.org/wp-content/uploads/2016/07/TfL-adaptation-report-.pdf>

[SNACC] Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare - Strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici , <http://www.minambiente.it/notizie/strategia-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-0>

[2017\_Vallejo] Vallejo, L. and Mullan, M., 2017. Climate-resilient infrastructure: Getting the policies right. *OECD Environment Working Papers*, (121), p.0\_1.

[2013\_NIPP] Homeland Security, 2013, NIPP 2013 Partnering for Critical Infrastructure Security and Resilience [https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/NIPP%202013\\_Partnering%20for%20Critical%20Infrastructure%20Security%20and%20Resilience\\_508\\_0.pdf](https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/NIPP%202013_Partnering%20for%20Critical%20Infrastructure%20Security%20and%20Resilience_508_0.pdf)

[2016\_Academies] Resilience @ the Academies. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Washington, D.C., 2016. [www.nationalacademies.org/topics/resilience/](http://www.nationalacademies.org/topics/resilience/)

[2007\_Lindell] Lindell, M. K., Prater, C. S., and Perry, R. W. (2007). Introduction to Emergency management, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ.

[2014\_Mostafavi] Mostafavi, A. and Abraham, D.M., 2014. Resilience-based planning in civil infrastructure using system-of-systems analysis. In Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network (pp. 1249-1258).

[2005\_Mello ] Mello, L (2005) Fat-tailed distributions in catastrophe prediction. CoRR abs/cs/0512022. Accessed 25 November 2013. <http://arxiv.org/ftp/cs/papers/0512/0512022.pdf>

[ 2008\_Berger] Berger, A, C Kousky and R Zeckhauser (2008) Obstacles to clear thinking about natural disasters: five lessons for policy. Pp73–94 in Risking house and home: disasters, cities, public policy. JM Quigley and LA Rosenthal (Eds). Berkeley, CA: Berkeley Public Policy Press.

[1999\_Lewis]

[2006\_Adger].

[<http://climatepolicyinfohub.eu/climate-change-adaptation-needs-barriers-and-limits>]