

DOTTORATO DI RICERCA IN INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
SCHEDA PER L'AMMISSIONE AL II ANNO DI CORSO

Dottorando ...Giovanna Marchionni **Ciclo** ...XXXV.....

Curriculum Infrastrutture e Trasporti..... **Tutore** ...Prof. Stefano Ricci.....

Argomento della ricerca: Infrastrutture critiche ferroviarie – Sistema di supporto alle decisioni per la stima della resilienza organizzativa nella gestione di eventi critici.....

SEZIONE A
Ricerca di Dottorato
(massimo 5 pagine)

1 – Acquisizione di conoscenze propedeutiche integrative (*contenuti appresi mediante frequenza di corsi, studio individuale, approfondimento del proprio bagaglio culturale, etc.*).

Si è prestata attenzione ad un costante aggiornamento sul tema della resilienza e delle infrastrutture critiche, mediante la consultazione di articoli su riviste settoriali, quali International journal of critical infrastructures, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Transportation Research Part B: Methodological, Transportation Research Part E: Logistic and Transportation Review, Journal of Transport Geography, Ingegneria Ferroviaria.

2 – Ricerca bibliografica svolta (*raccolta ed analisi di letteratura scientifica, con individuazione delle pubblicazioni maggiormente significative ai fini della ricerca proposta, per le quali si presenta in allegato una sintesi commentata.*).

La ricerca bibliografica svolta riguarda diversi aspetti di indagine, che possono essere sintetizzati nelle seguenti categorie:

- Definizione di Infrastrutture critiche [5]
- Resilienza delle infrastrutture critiche (definizioni, esempi, caratteristiche ed elementi da considerare) [1] [7] [8] [10] [14] [18] [20]
- Indice di resilienza infrastrutture (sia in termini generali sia attraverso esempi con particolare attenzione agli elementi da considerare) [4] [6] [9] [10] [13] [16]
- Resilienza delle infrastrutture ferroviarie [3] [12] [19]
- Modelli per l'analisi della resilienza nella gestione dell'emergenza [2] [11] [15] [17]

Si rimanda in allegato sintesi delle pubblicazioni ritenute di maggior interesse per la presente ricerca di dottorato.

[1] Alsubaie A., Alutaibi K., and Marti J., "Resilience Assessment of Interdependent Critical Infrastructure," vol. CRITIS: In, pp. 43–55, 2016.

- [2] Berkoune D., Renaud J., Rekik M., and Ruiz A., "Transportation in disaster response operations," *Socioecon. Plann. Sci.*, vol. 46, no. 1, pp. 23–32, 2012.
- [3] Bešinović N., "Resilience in railway transport systems: a literature review and research agenda", *Transport Reviews*, 2020
- [4] Clarke J. and Obrien E., "A Multi-hazard Risk Assessment Methodology, Stress Test Framework and Decision Support Tool for Transport Infrastructure Networks," *Transp. Res. Procedia*, vol. 14, pp. 1355–1363, 2016.
- [5] Cohen F., "What makes critical infrastructures Critical?" *Int. J. Crit. Infrastruct. Prot.*, vol. 3, no. 2, pp. 53–54, 2010.
- [6] Deublein M., Roth F., Willi C., Anastassiadou K., and Bergerhausen U., "Linking science to practice: a pragmatic approach for the assessment of measures to improve the resilience of transportation infrastructure systems," *Proc. 29th Eur. Saf. Reliab. Conf.*, pp. 1351–1356, 2019.
- [7] Galaitsi S., Trump B. D., Jeffrey M., and Linkov I., "The Need to Reconcile Concepts that Characterize Systems Withstanding Threats," no. Si 1, 2020.
- [8] Ganin A. A., Kitsak M., Marchese D., Keisler J. M., Seager T., and Linkov I., "Resilience and efficiency in transportation networks," *Sci. Adv.*, vol. 3, no. 12, pp. 1–9, 2017.
- [9] Linkov I. et al., "Tiered approach to resilience assessment," *Risk Anal.*, vol. 38, no. 9, pp. 1772–1780, 2018.
- [10] Mattsson G. and Jenelius E., "Vulnerability and resilience of transport systems - A discussion of recent research," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 81, pp. 16–34, 2015.
- [11] Mikalsen R. F., Durgun Ö., Portal N. W., Orosz K., Honfi D., and Reitan N. K., "Efficient emergency responses to vehicle collision, earthquake, snowfall, and flooding on highways and bridges: A review," *J. Emerg. Manag.*, vol. 8, no. 1, pp. 51–72, 2020.
- [12] Pagani A, Mosquera G, Alturki A, Johnson S, Jarvis S, Wilson A, Guo W, Varga L., "Resilience or robustness: identifying topological vulnerabilities in rail networks." *R. Soc. open sci.* 6: 181301, 2019
- [13] Prior T., "Measuring Critical Infrastructure Resilience : Possible Indicators," *Risk Resil. Rep. 9 - Cent. Secur. Stud. (CSS)*, ETH Zurich, no. April, 2015.
- [14] Rehak V. B David., Onderkova Vendula, "Determinants of Dynamic Resilience Modelling in Critical Infrastructure Elements David," *Proc. of the 29th European Safety and Reliability Conference*, pp. 3314–3319, 2019.
- [15] Romanowski C. et al., "Response and Recovery: A quantitative approach to emergency management" 2016.
- [16] Shoemaker Z., Eaton L., Petit F., Fisher R., and Collins M., "Assessing community and region emergency-services capabilities," *WIT Trans. Built Environ.*, vol. 119, pp. 99–110, 2011.
- [17] Son C., Sasangohar F., Neville T., Peres S. C., and Moon J., "Investigating resilience in emergency management: An integrative review of literature," *Appl. Ergon.*, vol. 87, no. February, p. 103114, 2020.
- [18] Van Trijp J. M. P., Ulieru M., and Van Gelder P. H. A. J. M., "Quantitative approach of organizational resilience for a Dutch Emergency Response Safety Region," *Adv. Safety, Reliab. Risk Manag. - Proc. Eur. Saf. Reliab. Conf. ESREL 2011*, no. September, pp. 173–180, 2012.

[19] Woodburn A. “Rail network resilience and operational responsiveness during unplanned disruption: A rail freight case study” *Journal of Transport Geography* 77, pp.59-69, 2019

[20] Zhou Y., Wang J., and Yang H., “Resilience of Transportation Systems: Concepts and Comprehensive Review,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 20, no. 12, pp. 4262–4276, 2019.

3 – Resoconto dello stato delle conoscenze relative alla tematica di ricerca *(breve sintesi del quadro scientifico di riferimento, in relazione alla tematica proposta: conoscenze consolidate e spunti per approfondimenti).*

Lo studio della resilienza delle infrastrutture critiche ha evidenziato che il tema sia meno indagato rispetto a quelli sulla vulnerabilità e come le ricerche esistenti si concentrino prevalentemente sulle fasi pre-evento di mitigazione e preparazione, mentre risultano penalizzate quelle di risposta e recovery. È pertanto necessario approfondire la ricerca in questa direzione, oltre che coinvolgere e creare maggiore collaborazione tra gestori, autorità, operatori, first responders e studiosi/ricercatori nella gestione e pianificazione delle emergenze e nello studio della resilienza delle reti di trasporto. Una collaborazione trasversale e multi-disciplinare di questo tipo sarà possibile trasformare gli studi e le analisi teoriche in strategie pratiche ed applicabili nella realtà.

La ricerca sulla resilienza ferroviaria è ancora più limitata, ogni aspetto della resilienza richiede ulteriori approfondimenti. In particolare l’attenzione può essere posta sui cambiamenti operativi e organizzativi che possono essere effettuati a breve termine e con costi limitati, come l’investigazione degli adeguamenti del traffico per rispondere e recuperare rapidamente ed efficacemente da perturbazioni sia singole che multiple. Inoltre gli approcci per la valutazione e la pianificazione della resilienza nelle ferrovie sono ancora relativamente inesplorati.

4 – Ricognizione delle attività in corso presso centri di ricerca nazionali ed internazionali *(inquadramento delle tendenze evolutive nello specifico ambito di ricerca, per quanto noto).*

L’attività lavorativa presso il Politecnico di Milano – Laboratorio Mobilità e Trasporti, ha permesso un costante aggiornamento relativo alle novità ed alla ricerca nel settore dei trasporti. A livello europeo emerge il sempre più crescente interesse nel definire idee e piani per lo sviluppo di strategie resilienti soprattutto nel contesto di infrastrutture critiche, in cui la capacità di adattamento al cambiamento e di prepararsi all’imprevisto è essenziale per ristabilirsi più rapidamente da un’interruzione garantendo l’attenuazione degli impatti economici.

– **Definizione della Ricerca di Dottorato** *(formulazione del Tema per la Tesi finale, con precisazione di: finalità, metodologia, fasi e tempi delle attività previste).*

La presente ricerca vuole indagare e valutare il ruolo delle misure organizzative di risposta ad un evento perturbativo sia in termini gestionali sia in termini di capacità di reazione da parte degli attori responsabili della gestione dei soccorsi. Risultano importanti, al fine di una gestione efficace dell’evento, lo sviluppo di processi decisionali informati e il contenimento degli effetti negativi attraverso un processo strutturato di conoscenza e mappatura delle risorse dislocate nel territorio che possono essere utilizzate in caso di necessità.

Gli obiettivi che si vogliono perseguire con la presente ricerca sono:

- Implementazione di un protocollo di gestione condivisa e coordinata tra i vari gestori delle infrastrutture ferroviarie e le sale operative degli enti territoriali e di pronto intervento chiamati a gestire le emergenze;

Definizione del metodo di valutazione della resilienza organizzativa													
Mappatura dei modelli organizzativi e operativi di risposta all'emergenza transfrontaliera Italia-Svizzera													
Censimento e valutazione delle capacità di risposta di tutti gli attori coinvolti													
Caratterizzazione e localizzazione delle risorse per organizzare la gestione dell'emergenza													
Valutazione della resilienza organizzativa													
Sintesi del metodo applicato al caso studio													
Sintesi degli aspetti innovativi e criticità del metodo													
Trasferibilità dei risultati													
Sviluppi futuri													

SEZIONE B

Attività di collaborazione e supporto; formazione ed acquisizione di capacità evolute (massimo 2 pagine)

1 – Partecipazione alle attività di didattica presso la struttura di afferenza (*attività seminariale, supporto alla didattica frontale, preparazione di materiale didattico, collaborazione per ricevimento studenti, collaborazione allo svolgimento di tesi di laurea e stages*)

Collaborazione all'attività di docenza al Politecnico di Milano per il corso "Transport risk management in emergency planning" – 10CFU, secondo semestre - Anno accademico 2019/2020

Collaborazione all'attività di docenza del corso Transport Planning and Economics (5 CFU) presso il Politecnico di Milano, primo semestre – Anno accademico 2019/2020

2 – Attività di formazione (*soggiorni presso strutture di didattica e ricerca in Italia e all'estero, corsi curriculari o speciali frequentati, partecipazione a seminari, convegni, workshop, etc.*)

Partecipazione al convegno CIPRE - Critical Infrastructure Protection & Resilience Europe tenutosi a Milano

3 – Collaborazione a studi, ricerche, programmi strutturati (*contributi in PRIN, ricerche di Facoltà e di Ateneo, convenzioni, etc., con inquadramento del programma e specificazione dell'attività prestata*).

Collaborazione al progetto SICT - Sicurezza delle Infrastrutture Critiche Transfrontaliere all'interno del Programma di Cooperazione INTERREG V – A ITALIA SVIZZERA 2014 – 2020.

Il progetto SICT - Sicurezza delle Infrastrutture Critiche transfrontaliere si inserisce all'interno del Programma di cooperazione Interreg V-A Italia-Svizzera 2014-2020 che contribuisce a conseguire gli obiettivi della Strategia Europa 2020.

I partner di progetto sono: Regione Lombardia DG Territorio e Protezione Civile UO Protezione Civile - Sviluppo e attuazione delle politiche per la sicurezza delle Infrastrutture Critiche; Politecnico di Milano - Laboratorio Mobilità e Trasporti e Dipartimento Ingegneria Gestionale; Polizia cantonale Ticinese; SUPSI - Scuola Universitaria Professionale della Svizzera italiana e Cantone Ticino Dipartimento del Territorio.

Inoltre, partecipano come consulenti tecnici Lombardia Informatica S.p. A. e Lombardi SA.

Il progetto mira ad accrescere la condivisione e lo scambio di conoscenze e informazioni sulle Infrastrutture Critiche transfrontaliere che interessano Regione Lombardia e il Cantone Ticino mediante la realizzazione di sistemi di monitoraggio congiunto anche in tempo reale e procedure/protocolli di comunicazione IT-CH tra i diversi operatori delle infrastrutture.

Il valore aggiunto del progetto riguarda il rafforzamento delle capacità di gestione di eventi che possono danneggiare in parte o totalmente la continuità di servizio di infrastrutture critiche di trasporto di interesse transfrontaliero quali ad esempio quelle stradali e ferroviarie che rappresentano importanti e strategici corridoi per il trasporto di persone e merci.

In quest'ottica si vuole progettare e implementare una piattaforma, accessibile ai diversi operatori, che si configura come sistema di supporto alle decisioni per il monitoraggio di tali infrastrutture e la condivisione di protocolli anche in tempo reale per la gestione di eventi rilevanti (sia di carattere naturale sia antropico) che possono avvenire su una o più tratte dell'infrastruttura a ridosso della zona di frontiera, ma possono provocare effetti anche a diverse decine di chilometri di distanza.

Collaborazione al progetto e relativa piattaforma “C-Roads Italy”, parte della C-Roads Platform a livello europeo

Ho proseguito la partecipazione al progetto di ricerca “C-Roads Italy” (attualmente in corso), facente parte della C-Roads Platform a livello europeo. La piattaforma C-Roads riunisce le autorità e gli operatori stradali ed è finalizzata ad armonizzare le attività di implementazione dei sistemi di trasporto intelligenti cooperativi (C-ITS) in tutta Europa. L'obiettivo principale del progetto è quello di realizzare servizi di trasporto C-ITS transfrontalieri interoperabili per gli utenti della strada. I sistemi “cooperative ITS” (C-ITS) sono una sottocategoria dei sistemi di trasporto intelligenti e comprendono un gruppo di tecnologie e applicazioni che consentono uno scambio efficace dei dati attraverso le tecnologie di comunicazione wireless tra componenti e attori del sistema di trasporto, molto spesso tra veicoli (vehicle to vehicle - V2V) o tra veicoli e infrastrutture (vehicle to infrastructure - V2I).

Nell'ambito del progetto, il mio contributo è stato organizzato in due livelli:

- A livello europeo, ho proseguito l'attività di confronto con i partner europei sulla modalità di in cui è possibile valutare gli impatti conseguenti l'introduzione e la diffusione dei C-ITS

all'interno della rete stradale europea, con riferimento alle seguenti aree di impatto: Technical Evaluation, User Acceptance, Traffic Efficiency, Environment, Safety.

- A livello nazionale, mi sono occupata di:
 - o redigere una valutazione di tipo ex-ante (antecedente rispetto all'implementazione del sistema/servizio degli impatti generati dallo sviluppo dei suddetti sistemi e tecnologie) relativa ai sistemi Highway Chauffeur e Truck Platooning, combinati con alcuni servizi C-ITS;
 - o impostare la seconda fase prevista di valutazione degli impatti, basata su simulazioni di tipo modellistico implementate tramite l'utilizzo di appositi software di micro-simulazione del traffico, in grado di riprodurre la mobilità veicolare a scala microscopica fino al dettaglio del singolo veicolo. In particolare, ho supportato lo sviluppo di modelli di simulazione che permettono di simulare correttamente la dinamica di movimento e il comportamento su strada dei sistemi di Truck Platooning e Highway Chauffeur. Si sono inoltre definiti i primi scenari di simulazione relativi ad alcuni casi d'uso dei sistemi C-ITS considerati da C-Roads, quali gli avvisi a bordo veicolo della presenza di cantieri stradali e di ostacoli su strada.

Il progetto di rilevanza europea permette di esportare metodi e modelli per l'analisi e a simulazione di soluzioni cooperative in ambito stradale. Inoltre fornisce elementi per trasferire le soluzioni analizzate ad altri ambiti.

Collaborazione alla valutazione dei sistemi ITS implementati nel progetto URSA Major2 finanziato nell'ambito del Programma europeo CEF – Connecting Europe Facility.

L'obiettivo principale di Ursa Major è quello di sviluppare servizi ITS (Intelligent Transportation System) per migliorare il traffico merci sulla rete stradale TEN-T, in particolare lungo i corridoi Reno-Alpi e Scandinavo-Mediterraneo, dai porti del Mare del Nord fino a quelli italiani.

Il problema principale del corridoio Ursa Major è l'elevato volume di traffico internazionale di merci. L'obiettivo perseguito dagli operatori stradali e dalle autorità stradali (Stati membri) è il miglioramento della gestione del traffico, della sicurezza e dell'impatto sull'ambiente attraverso le seguenti attività:

- Miglioramento dei servizi di parcheggio per camion
- Supporto per i servizi di navigazione del camion
- Rimuovere i colli di bottiglia e la congestione
- Miglioramenti della sicurezza per il trasporto di merci sulla TEN-T

Nell'ambito dell'attività mi sono occupata della stesura di un rapporto di sintesi relativo ai progetti valutati in Ursa Major2 e alla definizione e redazione di una metodologia per la trasferibilità dei risultati dei singoli progetti su tutto il corridoio di interesse. L'attività ha permesso di indagare diversi esempi di implementazioni in ambito stradale e ha consentito l'accrescimento delle competenze nel settore delle diverse tecnologie applicate al settore dei trasporti.

SEZIONE C

Informazioni

(Tale sezione contiene le informazioni richieste alla fine ogni anno dall'Ufficio Dottorati)

- 1) Titolare di borsa erogata dalla Sapienza - Università di Roma.....SI NO

- 2) NazionalitàITALIANA.....
- 3) Dottorato in cotutelaSI NO X
(se si indicare il cotutore.....)
- 4) Dottorato con doppio titoloSI NO X
- 5) Borsa con finanziamento esternoSI NO X
- 6) Università di provenienzaPolitecnico di Milano.....
- 7) Numero di mensilità di ricerca spese in una struttura di ricerca estera
- 8) Finanziamenti all'interno di reti internazionali di formazione alla ricerca ..SI NO X
- 9) Pubblicazioni e altri prodotti degli ultimi 3 anni
- 2020; Agriesti S., Studer L., Gandini P., Marchionni G., Qu X.; “*Roadworks Warning – Closure of a Lane, the impact of C-ITS messages*”; Articolo in rivista: INFRASTRUCTURES, VOL 5, Fascicolo 3; pag 1-18; DOI <http://dx.doi.org/10.3390%2Finfrastructures5030027>; Scopus: 2-s2.0-85081258532
 - 2019; Gandini P., Marchionni G., Studer L, Maja R.; “*Sustainable and aware mobility explained to children*”; Articolo in rivista: SUSTAINABILITY, VOL 11, Fascicolo 23; pag 1-11; DOI <http://dx.doi.org/10.3390%2Fsu11236668>; Scopus: 2-s2.0-85076700702
 - 2019; Borghetti F., Maja R., Marchionni G.; “*Gestione delle emergenze dei trasporti*”; Contributo in Volume: Sicurezza dei trasporti (Curatore Malavasi G.), Editore EGAF, pag 145-173; ISBN 9788884829719
 - 2019; Agriesti S., Studer L., Gandini P., Marchionni G., Ponti M., Visintainer F.; “*Safety on Italian Highways: Impacts of the Highway Chauffeur system*”; Contributo in volume: Smart Transportation System 2019; Editore: Springer; pag 55-73; ISBN 978-981-13-8683-1; DOI [10.1007/978-981-13-8683-1_7](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8683-1_7); Scopus 2-s2.0-85067271289
 - 2019; Studer L., Agriesti S., Ponti M., Marchionni G., Gandini P.; “*Impact assessment of cooperative and automated vehicles*”; Contributo in Volume: Cooperative Intelligent Transport Systems: Towards high-level automated driving, Editore IET digital library; pag 397-417; ISBN 9781839530128; DOI http://dx.doi.org/10.1049%2FPBTR025E_CH18
 - 2018; Agriesti S., Gandini P., Marchionni G., Paglino V., Ponti M., Studer L.; “*Evaluation approach for a combined implementation of day 1 C-ITS and truck platooning*”; Contributo in atto di convegno: 87th IEEE Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2018 – ISBN: 9781538663554; DOI: [10.1109/VTCSpring.2018.8417876](https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2018.8417876); Scopus: 2-s2.0-85050993610

- 2018; Marotta A., Studer, L., Marchionni G., Ponti M., Gandini P., Agriesti S., Arena M.; “*Possible Impacts of C-ITS on Supply-Chain Logistics System*”; Contributo in atto di convegno: 2018 EURO Mini Conference on Advances in Freight Transportation and Logistics, emc-ftl 2018; pag 332-341; DOI: 10.1016/j.trpro.2018.09.036; Scopus: 2-s2.0-85054084217
- 2018; Studer, L., Gandini P., Iuliano R., Borghetti F., Marchionni G.; “*Road Users Exposed to Harm from Transportation of Dangerous Goods - Definition and Estimation*”; Contributo in atto di convegno: CISAP 8, Rivista: CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, Vol 67, pag 757-762; DOI: 10.3303/CET1867127; Scopus: 2-s2.0-85054095158
- 2018; Agriesti S., Gandini P., Marchionni G., Paglino V., Ponti M., Studer L.; “*Evaluation approach for a combined implementation of day 1 C-ITS and truck platooning*”; Contributo in atto di convegno: 87th IEEE Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2018 – ISBN: 9781538663554; DOI: 10.1109/VTCSpring.2018.8417876; Scopus: 2-s2.0-85050993610

Per le aree bibliometriche. Articoli pubblicati su riviste peer-reviewed internazionali (ed eventualmente proceedings per le aree che accettano) con impact factor (indicizzate WoS) o indicizzate Scopus.

Per le aree non bibliometriche. Prodotti editoriali pubblicati dai dottorandi come Monografie dotate di ISBN e/o pubblicazioni in riviste di fascia A (o prodotti editoriali equivalenti ammessi dalla VQR).

ALLEGATO

Sintesi della ricerca bibliografica

Definizione di infrastrutture critiche

Cohen F., “What makes critical infrastructures Critical?,” Int. J. Crit. Infrastruct. Prot., vol. 3, no. 2, pp. 53–54, 2010. [5]

Nell’articolo l’autore si interroga sul significato da attribuire alle infrastrutture critiche e in particolare su quali esse siano e sul motivo della funzione critica da esse ricoperta. Per l’umanità risulta critico tutto ciò da cui dipende la sua sopravvivenza, a partire dal pianeta Terra, la cui continua operatività risulta per noi fondamentale: pertanto “la Terra è un’infrastruttura critica”. L’autore sottolinea poi come la ridondanza sia l’unica speranza di sopravvivenza per l’uomo nei confronti delle devastazioni del tempo: pertanto, questa deve essere garantita dal progresso e dallo sviluppo della scienza e dell’ingegneria, che risultano così essere a loro volta delle infrastrutture critiche. Così come risulta essere un’infrastruttura critica per l’umanità tutto ciò che ne consente la sopravvivenza, la crescita e il benessere: l’aria, l’acqua, il cibo, le abitazioni, l’agricoltura, il trasporto, le operazioni finanziarie, il commercio, le materie prime e la produzione di artefatti, i servizi di emergenza, le istituzioni e un governo stabile, la conoscenza, l’educazione, le capacità

militari, la ricerca, lo sviluppo, e perfino l'arte e il divertimento (intrattenimento), che consentono di rimanere sani. Critico risulta quindi ciò che potrebbe non esserci per abbastanza tempo (Critical, when you may not have them long enough). Infrastruttura, invece, è ciò che molte persone condividono o da cui dipendono (Infrastructure, when many people share and/or depend on them). Viene poi sottolineato come tutte queste cose vadano protette. La protezione è qualcosa che si fa e che è necessario continuare a fare per evitare che le cose si deteriorino/decadano: pertanto, la protezione/salvaguardia delle infrastrutture critiche è alla base per prevenire il deterioramento della società. Citando Cohen "In a sense, this is what protection experts do. they spend their professional lives struggling against the nature of people and things in order to keep societies together and working properly". Attraverso la conoscenza, la preparazione, le abilità personali ed il duro lavoro, è fondamentale assicurare la tutela delle infrastrutture critiche, anche di fronte ad eventi disastrosi di origine umana o naturale. Il futuro dipende dalla nostra capacità di organizzarci a livello globale, dal nostro progresso ingegneristico, scientifico, tecnologico e intellettuale, che devono far fronte alle ingiurie del tempo, alle catastrofi e ai limiti umani: è in gioco la nostra sopravvivenza ed è per questo che risulta fondamentale l'attributo Critico in Infrastrutture Critiche.

Resilienza delle infrastrutture critiche (definizioni, esempi, caratteristiche ed elementi da considerare)

Alsubaie A., Alutaibi K., and Martì J., "Resilience Assessment of Interdependent Critical Infrastructure," vol. CRITIS: In, pp. 43–55, 2016. [1]

Le strategie volte alla protezione delle infrastrutture critiche dovrebbero essere focalizzate non solo sulla prevenzione di eventi critici, ma anche sulla risposta e sul ripristino post-evento. In quest'ottica risulta fondamentale concentrarsi sulla resilienza delle infrastrutture critiche: in particolare gli autori si pongono l'obiettivo di affrontare il problema della valutazione della resilienza, che è direttamente collegata alla scelta delle strategie e degli investimenti volti al suo miglioramento. Nell'articolo viene quindi proposto uno schema/modello di valutazione della resilienza delle infrastrutture che si articola in tre step: definizione degli attributi di resilienza, modellizzazione delle infrastrutture critiche, misura della resilienza. Dopo un'analisi delle diverse definizioni di resilienza presenti in letteratura e in normativa, si procede con l'analisi del primo passo dello schema di valutazione (resilience assessment framework). Vengono individuati così tre tipi principali di attributi:

- Statici – misurano le caratteristiche fisiche statiche delle infrastrutture (es il numero di strade che portano ad un luogo)
- Dinamici – descrivono il comportamento dinamico delle infrastrutture, relativi per esempio alla preparazione all'emergenza, gestione dei soccorsi, gestione della risposta e del ripristino (es allocazione delle risorse disponibili, tempo di ripristino)
- Decisionali – misurano i fattori decisionali fondamentali (es politiche di comando e controllo per far fronte ai disastri, organizzazione delle squadre di soccorso disponibili)

Il secondo step prevede la costruzione del modello infrastrutturale analizzato, che deve rispettare i seguenti requisiti: presenza di parametri per considerare gli attributi precedentemente individuati, comportamento nel tempo dell'infrastruttura, considerare sia i parametri interni, sia quelli esterni che influiscono sulla resilienza. Per tale scopo gli autori si servono del modello "i2Sim" (Infrastructure Interdependencies Simulator), già utilizzato per modellizzare infrastrutture critiche nella fase di risposta a disastri. Questa metodologia si basa su un approccio "cell-channel": i sistemi infrastrutturali sono modellati con i componenti di i2Sim (celle, canali, aggregatori, sorgenti distributori, modificatori...), le relazioni tra input e output sono rappresentate mediante una funzione o una tabella che descrive l'operazione della cella. Inoltre il livello degli output viene definito dalla disponibilità dei dati di input, del livello di danno fisico alla cella e dall'effetto di possibili modificatori. A partire da più livelli iniziali (layer fisico, di danno, decisionale, ICT) si ottiene quindi una misura di operatività del sistema modellato. Questo output, che incorpora tutti gli attributi di resilienza (statici, dinamici, decisionali), costituisce la base per creare l'indice di resilienza dell'infrastruttura R: esso viene calcolato, appunto, considerando l'output di i2Sim in rapporto al tempo di ripristino delle condizioni pre-evento. R può variare da 0 a 1 ed un suo valore più elevato corrisponde ad una maggiore resilienza infrastrutturale. In particolare R è definito dall'integrale che comprende l'area sottesa dalla curva tra t_0 e t_r .

$$R = \int_{t_0}^{t_R} y(t)/t dt$$

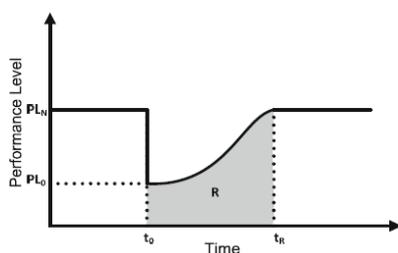


Fig. 4. Graphical representation of resilience

L'indice di resilienza così ottenuto può risultare un utile strumento di supporto alle decisioni per andare a migliorare la resilienza delle infrastrutture.

Galaiti S., Trump B. D., Jeffrey M., and Linkov I., "The Need to Reconcile Concepts that Characterize Systems Withstanding Threats," no. Si 1, 2020. [7]

Il sistema costituito dal mondo naturale e da quello antropico è continuamente sottoposto ad eventi distruttivi. La performance dei sistemi oggetto di studio viene quindi generalmente espressa mediante una serie di concetti ricorrenti in questo ambito: capacità di adattamento, agilità/flessibilità, affidabilità, resilienza, resistenza, robustezza, safety, security, sostenibilità. A partire da interviste semi-strutturate con autori di articoli giornalistici nel campo della risposta all'emergenza e della gestione dei sistemi, da una revisione della letteratura disponibile, dalla ricerca etimologica e linguistica e dalla raccolta di pareri di professionisti, gli autori hanno analizzato le risposte e le informazioni raccolte riguardo i concetti sopra elencati a livello di definizioni linguistiche e di inquadramento matematico. Attualmente non esiste un vero e proprio consenso per i termini del campo dell'emergenza-distruzione dei sistemi e delle loro reciproche

relazioni. Anzi, spesso, tali concetti vengono utilizzati indebitamente ed entrano in conflitto tra di loro. Dopo aver effettuato un inquadramento linguistico e matematico, gli autori sono riusciti a sviluppare le seguenti definizioni legate alla performance dei sistemi di fronte ad eventi distruttivi:

Adaptability: Ability to change internally as necessary to re-establish a high level of fitness after a disruptive event.

Agility: Ability to respond quickly to emerging challenges and opportunities.

Reliability: Ability to perform within acceptable thresholds.

Resilience: Capacity to recovery critical functions and adapt following a disruptive event.

Resistance: Capacity to absorb disruptions with minimal damage to system functionality.

Robustness: Capacity to withstand disruptions without damage to system functionality.

Safety: Configuration that exposes to the system to the fewest and least harmful disruptions.

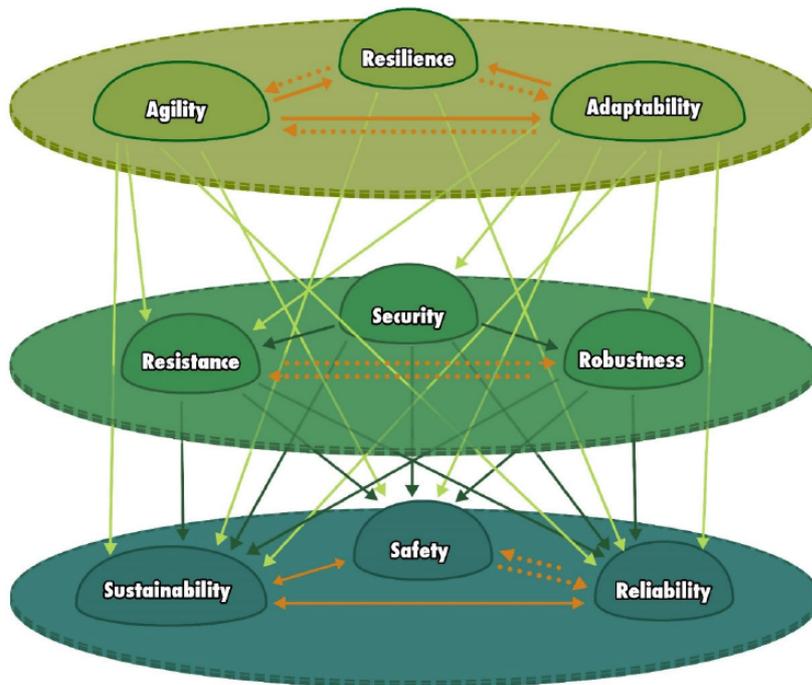
Security: Capacity to insulate itself from disruptions that would otherwise interruption functionality.

Sustainability: Ability to maintain a high level of functionality without inputs from external resources.

In seguito nell'articolo si vanno ad analizzare le relazioni esistenti tra i 9 concetti, i loro legami e contrasti e come a volte il rafforzamento di uno di essi vada a supportare anche altri. Nella seguente tabella si riportano i risultati ottenuti: le valutazioni effettuate dagli autori su come il concetto di ogni colonna contribuisce a quello di ogni riga. La tabella non è simmetrica e le frecce che non sono riempite completamente indicano una relazione parziale.

	Adaptability	Agility	Reliability	Resilience	Resistance	Robustness	Safety	Security	Sustainability
Adaptability	█	←		←					
Agility	←	█		←					
Reliability	←	←	█	←	←	←	←	←	←
Resilience	←	←		█					
Resistance	←	←			█	←		←	
Robustness	←				←	█		←	
Safety	←	←	←		←	←	█	←	←
Security	←							█	
Sustainability	←	←	←	←	←	←	←	←	█

Gli autori hanno infine potuto realizzare uno schema concettuale di tipo grafico in grado di relazionare tra loro tutti i concetti esaminati: flessibilità, capacità di adattamento e resilienza si trovano al livello superiore e supportano tutti gli altri concetti, servendosi a volte della mediazione dei concetti posti sul livello intermedio (security, robustezza e resistenza), che quindi sia ricevano, sia forniscono supporto. Infine, al livello più basso si ritrovano safety, sostenibilità e affidabilità, che sono invece solo supportati dai concetti dei livelli superiori. Si può poi osservare come i concetti non si escludano a vicenda, ma come possano contribuire tra loro e come possano essere sfruttati insieme (relazioni tra concetti di uno stesso livello).



I concetti del livello superiore possono essere visti come le azioni intraprese, quelli del livello intermedio come le conseguenze a breve termine o le capacità attivate dalle azioni intraprese e quelli del livello inferiore come i risultati a lungo termine.

In conclusione, una migliore comprensione dei concetti esaminati, un loro uso efficace e universalmente condiviso e la conoscenza delle loro relazioni reciproche consentirà ai gestori di valutare i propri sistemi, di prevedere e validare gli impatti delle azioni intraprese e di comunicare in modo chiaro le metodologie seguite agli altri gestori.

Mattsson G. and. Jenelius L., "Vulnerability and resilience of transport systems - A discussion of recent research," Transp. Res. Part A Policy Pract., vol. 81, pp. 16–34, 2015. [10]

Nell'articolo viene affrontata la definizione di vulnerabilità e la sua differenza dal concetto di resilienza. In particolare ci si concentra nella ricerca bibliografica di questi due concetti legati al sistema delle infrastrutture critiche di trasporto. L'importanza di avere un sistema di trasporto robusto e affidabile, anche per le conseguenze economiche e sociali ad esso legate, ha determinato un elevato numero di ricerche per capire i meccanismi e le relazioni che ne determinano la vulnerabilità e per trovare il modo di renderlo più robusto e resiliente di fronte a disturbi ed eventi distruttivi. Per quanto riguarda il concetto di vulnerabilità, gli autori evidenziano come si possano distinguere, anche all'interno di una curva di rischio, la vulnerabilità vera e propria, che riguarda eventi rari e con conseguenze avverse considerabili, e l'affidabilità, intesa come "la probabilità di uno strumento/sistema di eseguire il proprio compito adeguatamente per il periodo di tempo previsto sotto le condizioni operative incontrate". Quest'ultimo aspetto, contestualizzato all'ambito dei sistemi di trasporto, riguarda le variazioni giornaliere del tempo di viaggio di tipo ordinario e che i viaggiatori possono minimizzare facilmente. Risulta evidente come per l'affidabilità sia molto più facile

raccogliere dati rispetto alla vulnerabilità di fronte ad eventi rari e distruttivi e quindi come la parte destra della curva di rischio risulti essere molto più precisa dell'estremità sinistra.

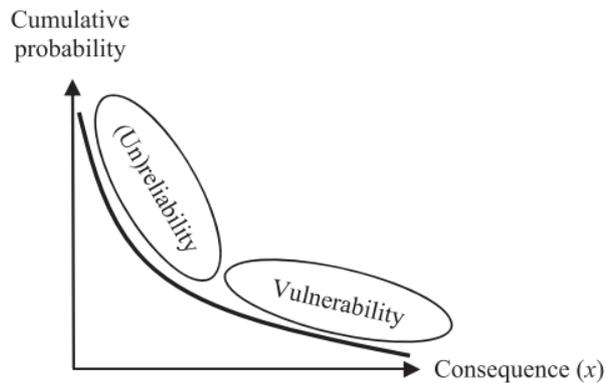


Fig. 1. Risk curve showing the cumulative probability of risk scenarios with consequences greater than or equal to x .

Gli autori individuano e classificano le cause degli eventi distruttivi, distinguendo tra cause interne ed esterne e tra eventi accidentali e intenzionali. Le conseguenze degli eventi possono assumere uno spettro molto ampio: incremento del tempo/costo di viaggio e di consegna per passeggeri e merci, cancellazione di viaggi, costi economici e sociali, costi di ripristino o ricostruzione dell'infrastruttura. La resilienza presenta un grande numero di definizioni e sfumature: da sottolineare la distinzione tra resilienza ecologica o statica, che serve per definire se il sistema è in grado di ritornare allo stesso grado di funzionalità pre-evento, e resilienza ingegneristica o dinamica, che si riferisce, invece, alla rapidità di ripristino completo del livello funzionale. La vulnerabilità condizionale sono le conseguenze aggregate di uno scenario distruttivo rappresentate dall'area tra la linea punteggiata nel grafico sottostante (piena funzionalità del sistema) e la curva rappresentante il livello ridotto di funzionalità, la quale dipende dalle azioni di mitigazione ex ante e di adattamento ex post. In particolare, il concetto di resilienza ingegnerizzata ha introdotto un modo di pensare di tipo proattivo in contrapposizione a quello reattivo di difesa. Inoltre, rispetto all'analisi di vulnerabilità, offre un inquadramento più ampio per fronteggiare gli eventi distruttivi delle infrastrutture, considerando gli aspetti di preparazione, risposta, ripristino e adeguamento. La resilienza presenta quattro cardini: sapere cosa fare, cosa osservare, cosa aspettarsi e cosa è successo. Gli studi di vulnerabilità ha quindi il ruolo di rafforzare la resilienza dei sistemi di trasporto per quanto riguarda l'aspetto di cosa aspettarsi.

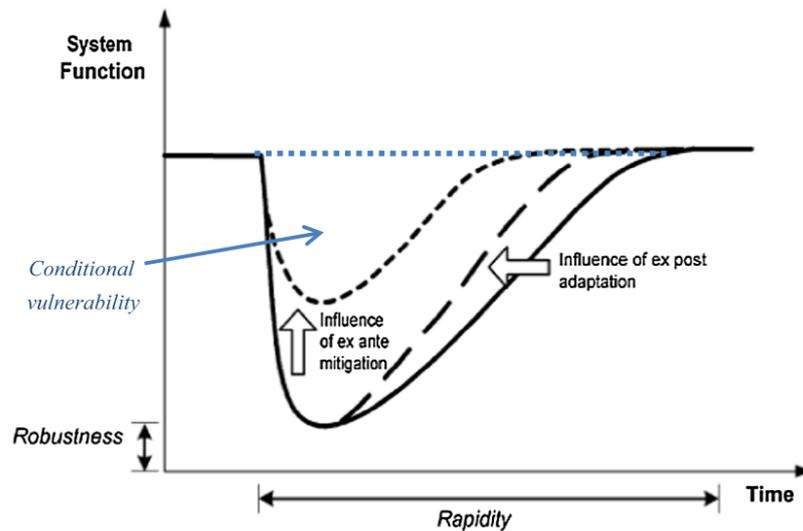


Fig. 2. Effects of decision-making on resilience (conditional vulnerability and dotted line added by the authors). Source: [McDaniels et al. \(2008, p. 312\)](#)

Gli autori individuano nella letteratura l'esistenza di due approcci differenti per studiare la vulnerabilità e riassumono i principali modelli formulati per le due tipologie. I due approcci ed i rispettivi aspetti positivi e negativi sono i seguenti.

Analisi della vulnerabilità topologica delle reti di trasporto: la rete di trasporto reale è rappresentata come una rete astratta (grafo) con un set di V nodi e un set di L archi. Aspetti positivi: limitata necessità di dati per effettuare l'analisi, metodologia semplice e lineare che consente di studiare (anche da punto di vista computazionale) le prestazioni di un sistema di trasporto anche rimuovendo in successione tutti i nodi/archi, possibile il confronto tra diversi sistemi di trasporto. Aspetti negativi: la semplicità di rappresentazione si riflette in una rappresentazione molto approssimativa della risposta del sistema ad eventi distruttivi, non consente di valutare gli effetti dinamici di un evento (es. l'aumento del livello di congestione della rete) e le conseguenti risposte.

Analisi di vulnerabilità delle reti di trasporto system-based: rappresenta maggiormente la struttura del sistema di trasporto reale, riprendendo la struttura del grafo con nodi ed archi ed affiancandola con dati e modelli di domanda e offerta di trasporto. Aspetti positivi: rappresentazione e previsione più precisa ed affidabile del comportamento del traffico, consente di misurare in modo più diretto e intuitivo gli impatti sulla rete. Aspetti negativi: richiedono un elevato numero di dati e maggiori oneri di calcolo.

Per quanto riguarda gli studi sulla resilienza delle infrastrutture critiche, gli autori evidenziano come questi siano molto inferiori rispetto a quelli sulla vulnerabilità e come quelli esistenti si concentrino prevalentemente sulle fasi pre-evento di mitigazione e preparazione, mentre risultano penalizzate quelle di risposta e recovery. E' pertanto necessario approfondire la ricerca in questa direzione, oltre che coinvolgere e creare maggiore collaborazione tra gestori, autorità, operatori, first responders e studiosi/ricercatori nella gestione e pianificazione delle emergenze e nello studio della resilienza delle reti di trasporto. Solo con una collaborazione trasversale e multi-disciplinare di questo tipo sarà possibile trasformare gli studi e le analisi teoriche in strategie pratiche ed applicabili nella realtà.

Zhou Y., Wang J., and Yang H., "Resilience of Transportation Systems: Concepts and Comprehensive Review," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 20, no. 12, pp. 4262–4276, 2019. [20]

L'articolo fornisce una sintesi della letteratura esistente sulla resilienza nel campo dei trasporti a partire da database di ricerca e giornali. Viene esaminata la definizione di resilienza e si considerano alcuni aspetti annessi. Gli autori, però, si concentrano soprattutto sui parametri e sulla misurazione (metrics) e sui modelli matematici utilizzati per misurare la resilienza e sulle strategie utilizzate per migliorarla. Per misurare la resilienza si seguono due step: individuare un metodo di misura/parametri per la misura e poi calcolare gli indicatori e la resilienza stessa con degli approcci di analisi. Esistono tre principali metodi di misura per la resilienza dei sistemi di trasporto:

- Topologico/geografico – si concentra sulle caratteristiche geografiche e sulla struttura del sistema e ignora le caratteristiche dinamiche, è basato sulle proprietà grafiche (es lunghezza del percorso più breve). I più utilizzati sono la misura del "giant component", che valuta la proporzione di nodi connessi dopo la distruzione, e la media dei percorsi più brevi.
- Basato sugli attributi (attributes-based) – solitamente si basa su una o più proprietà della resilienza (robustezza, ridondanza, disponibilità di risorse/ingegnosità e rapidità/velocità) e cerca di misurare la resilienza di un sistema di trasporto in un periodo determinato. Molti di questi metodi prendono in considerazione in particolare il tempo di ripristino.
- Basato sulla performance (performance-based) – misura la resilienza valutando la performance del sistema di trasporto in tutto il periodo dell'evento. I più diffusi sono: misura della degradazione del sistema nel tempo (capacità di ridurre le probabilità di entrare in crisi, ridurre le conseguenze e il tempo di recupero/ripristino), coefficiente di ripristino della perdita subita dal sistema (si considera in questo caso un indicatore di resilienza di tipo dinamico, che rapporta il grado di ripristino ad un certo tempo t rispetto ad un tempo considerato precedentemente), frazione di domanda soddisfatta dalla rete in condizioni post-evento, utilizzando appositi costi di ripristino (quantità di merci trasportate, costi a livello economico, giorni di servizio persi, spese necessarie per il ripristino della rete). Quest'ultimo metodo consente quindi in alcuni casi di considerare sia la capacità funzionale residua durante e dopo un evento, sia il tempo e le risorse necessarie per il ripristino.

I metodi attributes-based e performance-based considerano sia la struttura della rete considerata, sia i flussi di traffico (caratteristiche dinamiche), mentre il metodo topologico considera solo il primo aspetto.

Gli approcci di analisi e valutazione maggiormente impiegati per implementare i metodi di calcolo della resilienza e quindi per valutare la performance dei sistemi di trasporto colpiti da eventi distruttivi sono:

Modelli di ottimizzazione: usati principalmente per problemi di assegnazione del traffico e per ottimizzare l'utilità delle risorse per mitigazione, preparazione, risposta e recupero/ripristino.

Modelli topologici: implementano i metodi di calcolo di tipo topologico e fanno riferimento a processi ripetitivi di calcolo di molti scenari-evento.

Modelli di simulazione, raramente usati.

Modelli della teoria della probabilità: si definisce un parametro stocastico di riduzione della performance di un componente a causa di un evento e si stabilisce la probabilità di rispettare un tempo di ripristino.

Modelli Fuzzy logic: logica multi-valore che si utilizza per considerare più variabili quando non ci sono modelli matematici espliciti. Usa numeri reali tra 0 e 1 per rappresentare la veridicità delle variabili (?).

Modelli basati sui dati (data-driven): si utilizzano i dati reali registrati in passato per valutare la resilienza in particolari scenari.

Nella letteratura viene spesso affrontato anche il tema del miglioramento della resilienza, valutato attraverso la misurazione della resilienza stessa. In particolare il miglioramento della resilienza si focalizza su una delle quattro fasi di un evento: mitigazione, preparazione, risposta e ripristino/recupero. (response → azioni temporanee per ridurre le conseguenze dell'evento; recovery → ripristino delle condizioni iniziali del sistema)

Alcune tematiche emergenti:

- Migliorare la resilienza, individuando i componenti critici dei sistemi (risorse limitate → allocazione nei punti critici)
- Cambiamento climatico a livello globale con conseguenti eventi climatici estremi che mettono alla prova la resilienza.
- Potenziali direzioni di ricerca per il futuro:

Applicazione dei metodi di calcolo e dei modelli alle reti di trasporto su larga scala;

- Ricerca di più obiettivi: ripristino di un livello di servizio accettabile, requisiti di evacuazione, costi economici;
- Valutazione degli impatti dei disastri sulla società e sull'economia;
- Resilienza dei sistemi interdipendenti: esaminare i metodi per migliorare la resilienza di reti di trasporto intermodale e per evitare gli effetti distruttivi a cascata su altri sistemi (cascading-effects);
- Valutazione degli "esseri umani" durante la fase di "recovery";
- Considerare, oltre alle strategie per soddisfare la domanda, alla possibilità di diminuire la domanda per ridurre il carico sulla rete colpita;
- Valutazione della resilienza intrinseca di un sistema come capacità di affrontare ogni potenziale scenario e non solo uno specifico scenario.

Indice di resilienza infrastrutture (sia in termini generali sia attraverso esempi con particolare attenzione agli elementi da considerare)

Deublein M., Roth F., Willi C., Anastassiadou K., and Bergerhausen U., "Linking science to practice: a pragmatic approach for the assessment of measures to improve the resilience of transportation infrastructure systems," Proc. 29th Eur. Saf. Reliab. Conf., pp. 1351–1356, 2019. [6]

Gli autori si pongono l'obiettivo di trovare un approccio in grado di applicare a livello pratico i numerosi studi presenti in letteratura riguardanti la valutazione della resilienza delle infrastrutture di trasporto. In questo modo è, infatti, possibile fornire uno strumento utile da mettere a disposizione dei gestori e degli operatori delle infrastrutture per migliorarne la resilienza e definire l'impatto e la priorità delle misure da adottare a tale scopo. Le misure adottabili possono essere di diversa natura (tecniche, organizzative, strutturali...) e possono interessare diverse fasi del ciclo di resilienza: preparazione, protezione, risposta, ripristino. Al fine di comprendere gli effetti delle singole misure sulla resilienza della rete infrastrutturale, è stato sviluppato un ciclo di gestione della resilienza, un procedimento iterativo che parte dagli obiettivi e dalle condizioni al contorno del sistema (riportato di seguito).

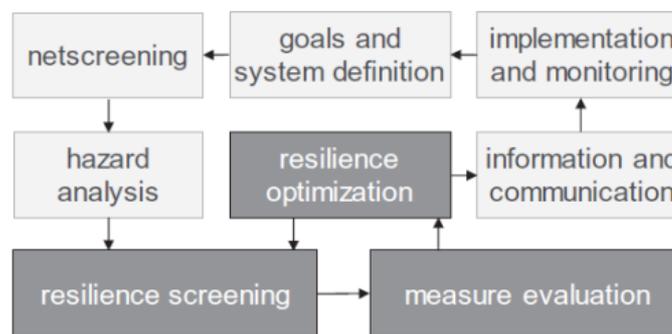


Fig. 3. Resilience management cycle combining the single components of a holistic resilience consideration (Deublein et al. (2018)).

Alla base del ciclo di gestione della resilienza vengono posti la definizione del sistema, lo screening della rete e l'analisi dei rischi. In questo modo è poi possibile andare a definire il nucleo del processo: screening della resilienza, valutazione delle misure e ottimizzazione.

La metodologia proposta si articola in tre step:

Screening della resilienza (resilience screening) → studio della resilienza attuale del sistema e identificazione dei possibili campi d'azione per migliorarla.

- In particolare la valutazione della resilienza → effettuata utilizzando un sistema di punteggio: a partire da una serie di criteri (parametri) caratteristici dell'infrastruttura si definiscono 5 categorie/dimensioni (sociale, ambientale, fisica, economica e istituzionale). Per ogni criterio viene attribuito un punteggio da 0 a 5 a partire dal parere di esperti e dati quantitativi quando disponibili. Il risultato dell'analisi è un valore finale di resilienza S (per ogni criterio, che va a costituire quello di ogni dimensione, che va a costituire quello del sistema).

- Determinazione dei campi di intervento → a partire dal valore S, si definiscono degli indici d'azione, caratteristici di ogni dimensione e criterio, calcolati servendosi di coefficienti pesati dei criteri e delle dimensioni. Maggiore sarà il coefficiente d'azione, maggiore sarà la necessità di intervento relativa a quel criterio/dimensione (possibile stabilire anche soglie limite di intervento).

- Identificazione delle misure → per migliorare la resilienza è necessario ridurre il valore del coefficiente d'azione, adottando opportune misure relative ai criteri e alle dimensioni.

Valutazione delle misure → analisi dell'impatto delle misure sulla resilienza del sistema.

- Identificazione delle funzionalità e delle sotto-funzionalità del sistema (su cui impattano le misure adottate) ad es. tempo di viaggio, capacità, sicurezza;
- Valutazione dell'impatto di una misura, stimando la perdita di funzionalità e il tempo di ripristino del sistema. A tale scopo si deve quantificare l'efficacia di ogni misura su una sotto-funzionalità per ogni elemento del sistema. Pesando con dei coefficienti ogni sotto-funzionalità e ogni elemento è così possibile definire una valutazione dell'impatto della misura sulla resilienza del sistema.

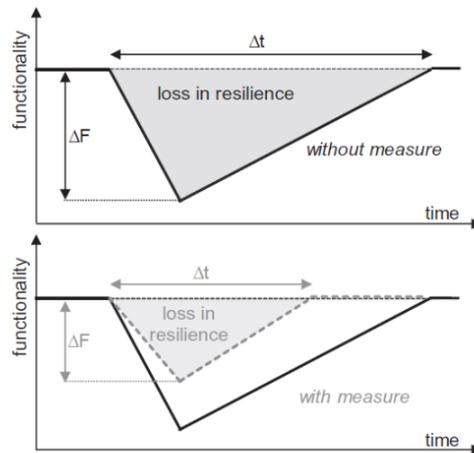


Fig. 5. Functionality curve with and without measure. A measure decreases the maximal loss in functionality ΔF and the time until the system has recovered Δt (Deublein et al. (2018)).

Ottimizzazione della resilienza → a partire dalla stima degli impatti delle misure ipotizzate, si effettua un'analisi costi-efficacia. In particolare si valutano prima i costi relativi all'implementazione di ogni misura ed in seguito un coefficiente che mette in relazione tali costi con l'impatto conseguente alla misura sulla resilienza. E' così possibile andare a stabilire la priorità degli interventi proposti.

Linkov I. et al., "Tiered approach to resilience assessment," *Risk Anal.*, vol. 38, no. 9, pp. 1772–1780, 2018. [9]

Gli autori propongono uno schema di valutazione della resilienza che preveda un approccio a più livelli (tiered approach), di modo che esso possa essere integrato nei processi normativi esistenti. L'obiettivo è quello di stabilire un approccio comprensivo che sia in grado di bilanciare la complessità di analisi con i bisogni degli stakeholders e le risorse a disposizione per arrivare così a definire le azioni praticabili per accrescere la resilienza delle infrastrutture. Nell'articolo si evidenzia come il concetto di resilienza si accompagni a quello di rischio, spiegando poi come la valutazione e la "gestione" della resilienza siano mirate a far fronte al rischio residuo e ad aumentare l'abilità di rispondere a situazioni impreviste e di emergenza dell'intero sistema oggetto di studio. Gli autori ritengono quindi utile creare un modello a livelli per la valutazione della resilienza che sia in grado di integrarsi con i modelli di valutazione del rischio già esistenti e previsti a livello normativo (riferendosi al contesto USA in particolare, ma osservazione valida in generale). Per affrontare il problema viene proposto un approccio a tre livelli che consente anche di riorganizzare i diversi metodi quantitativi di analisi e valutazione della resilienza esistenti in base al loro

grado di dettaglio e al loro costo di implementazione. In particolare il livello 1 punta a stabilire il ruolo di componenti o azioni di interesse all'interno di un sistema più ampio (considerando diversi ambiti: sociale, tecnologico, ambientale...), mettendone in evidenza le funzioni critiche e le relazioni con gli elementi del sistema (o come un evento che colpisce un sistema possa avere effetti a cascata su di un altro). Il livello 1 serve quindi per identificare e definire le principali funzioni del sistema/elemento oggetto di studio, oltre che per stabilire la necessità di altri approfondimenti nel caso vengano superate certe soglie di rischio o si ritenga insufficiente la complessità dell'analisi svolta. Nel secondo livello viene descritta la struttura del sistema, evidenziandone le relazioni tra i componenti spaziali e/o temporali e le connessioni con altri sistemi. I metodi utilizzati per il livello 2 potrebbero essere matrici con performance di resilienza che sfruttino i parametri del livello 1, disaggregandoli, oppure la formulazione di alcuni scenari che consentano di stabilire i guadagni o le perdite derivanti da particolari scelte e investimenti. In questo modo è possibile confrontare diversi progetti o investimenti per accrescere la resilienza. Si passa infine al livello 3 quando la situazione risulta essere particolarmente complessa, variabile e soggetta a rapide evoluzioni o a condizioni estreme/straordinarie. In questa fase si fa ricorso alla formulazione di un elevato numero di scenari e viene prevista la modellizzazione del processo di risposta e recovery del sistema per poter così predisporre opportuni piani di intervento e per ridurre le ricadute su altri sistemi.

L'approccio proposto è quindi di tipo iterativo, prevede un avanzamento per step in modo da minimizzare i costi e i tempi di analisi e si adatta in particolar modo a situazioni di incertezza e di cambiamento delle priorità di intervento. Gli autori sottolineano, infine, la necessità di definire delle soglie di resilienza riconosciute a livello internazionale e spiegano come il "tiered approach to resilience assessment" possa mettere anche in evidenza quali siano i metodi e gli strumenti al momento non ancora disponibili per stabilire tali soglie.

Prior T., "Measuring Critical Infrastructure Resilience: Possible Indicators," Risk Resil. Rep. 9 - Cent. Secur. Stud. (CSS), ETH Zurich, no. April, 2015 [13]

L'articolo vuole dare delle indicazioni su delle possibili modalità di valutazione della resilienza delle infrastrutture critiche e su quali indicatori possano essere utilizzati per definirla. La resilienza è sempre stata studiata da un punto di vista teorico e, data la sua complessità, risulta difficoltoso riuscire ad applicarla da un punto di vista pratico, soprattutto perché essa dipende da un grande numero di fattori, che variano anche in base al sistema studiato. E' quindi innanzitutto fondamentale evidenziare la differenza tra misura di resilienza e indice di resilienza. Nel primo caso, infatti, si va ad individuare un valore che deve essere definito ed esprime una quantità, mentre nel secondo caso si va ad esprimere un indicatore, che rappresenta solo in modo approssimato la caratteristica che si sta analizzando. Pertanto una misura della resilienza è una valutazione assoluta della resilienza, mentre un indice di resilienza è una valutazione relativa della resilienza, non esatta, ma che consente il confronto tra entità descritte con lo stesso indice o tra una stessa entità in momenti diversi nel tempo. L'utilizzo di un indice di resilienza è quindi utile nel caso si vogliano allocare

degli investimenti o delle risorse o per evidenziare la variazione di resilienza su una rete tra condizioni normali e post-evento. Infatti, si può creare un livello di riferimento di resilienza in condizioni standard relativamente alla funzionalità di un elemento per poi andare a studiare come questo vari sotto stress. La decisione di utilizzare una misura assoluta o una valutazione relativa della resilienza deve essere effettuata nello stesso momento in cui si decide come e perché analizzare la resilienza, cioè quando si sceglie quali risultati si vogliono ottenere e per cosa serviranno. Si osserva inoltre come un indice venga prodotto a partire da un certo numero di indicatori, appositamente scelti in base all'obiettivo perseguito, e che saranno pesati in base alla loro importanza reciproca. Gli indicatori di resilienza possono essere scelti a seconda del tipo di infrastruttura e del tipo di evento studiati e vengono generalmente suddivisi in indicatori applicati a priori, cioè che conferiscono una valutazione relativa di resilienza all'infrastruttura prima dell'evento ed indipendentemente da esso, e indicatori utilizzati a posteriori (post-hoc), che spesso danno una misura assoluta in seguito all'evento e che possono essere confrontati con la misura corrispondente in condizioni standard. In generale si riconoscono quattro caratteristiche per descrivere la natura della resilienza delle infrastrutture critiche: robustezza, ridondanza, disponibilità di risorse da impiegare (resourcefulness) e rapidità/velocità (di ripristino).

Gli autori procedono poi ad identificare dei potenziali indicatori a priori:

- Probabilità di fallimento (failure): stima dell'impatto atteso e della degradazione dell'infrastruttura in seguito ad un evento;
- Qualità dell'infrastruttura: indicatore del grado di performance dell'infrastruttura (se è più basso può entrare in crisi più facilmente);
- Funzionalità pre-evento dell'infrastruttura: indicatore fondamentale per valutare il tempo di ripristino della funzionalità pre-evento; legata alla qualità dell'infrastruttura;
- Sostituibilità: associata alla ridondanza dell'infrastruttura e basilare per definire l'allocazione delle risorse per la protezione;
- Interdipendenza: indicatore delle relazioni dell'infrastruttura, che hanno dei vantaggi (legati ad eventuale incremento di funzionalità, sostituibilità/ridondanza della rete) e degli svantaggi (legati alla dipendenza da altri sistemi per alcune componenti). Da valutare l'esistenza di dipendenze, la loro natura e i legami critici (a livello fisico, cyber, geografico, logico);
- Qualità/estensione degli elementi di mitigazione: a livello fisico, organizzativo, software di funzionalità...;
- Qualità della pianificazione e risposta alle perturbazioni: caratteristiche tecniche, pianificazione organizzativa per preparazione e risposta, presenza di strutture, risorse e personale;
- Qualità della condivisione di comunicazioni e informazioni in emergenza: qualità delle strutture comunicative in emergenza, condivisione informazioni tra i gestori e i scorsi;
- Sicurezza dell'infrastruttura: a livello di strutture fisiche, gestione della security e del personale contro attacchi terroristici, cyber, informatici...

Gli indicatori a posteriori individuati sono invece:

- Crisi del sistema (system failure): osservazione dell'effettiva crisi del sistema, che può essere utile ad individuare le caratteristiche e le dipendenze che l'hanno provocata;
- Gravità della crisi (failure);
- Funzionalità post-evento: la sua misura può essere confrontata con quella pre-evento e inoltre si può valutare il tempo di ripristino (dipendente da qualità della pianificazione, comunicazione, elementi di mitigazione, qualità infrastrutturale);
- Valutazione dei danni post-evento: relazionare le caratteristiche dell'infrastruttura con i danni subiti post-evento e valutati anche con strumenti GIS e sistemi di sensori da remoto;
- Costo di ripristino della funzionalità post-evento;
- Tempo di ripristino/recupero post-evento;
- Coefficiente di ripristino/perdita: calcolo della velocità di ripristino in relazione alla gravità della perdita.

Gli indicatori individuati sono tra loro interconnessi ed è quindi necessario quantificarli, pesarli tra loro ed aggregarli per poter costruire degli indici di resilienza. Gli autori propongono due metodologie di esempio per lo sviluppo di indici di resilienza:

- Quella proposta dall'ECIP (Enhanced Critical Infrastructure Program), che sviluppa un indice di resilienza RI utilizzato come livello di riferimento per allocare gli investimenti relativi alla resilienza infrastrutturale. Il RI viene costruito con un processo gerarchico, sviluppato su più livelli, dove le tre caratteristiche principali della resilienza sono definite da componenti più specifici (con relative informazioni) organizzati ad un livello inferiore, a loro volta costituiti da sotto-componenti (con relativi dati grezzi) ad un livello inferiore. I dati sono raccolti mediante interviste a personale specializzato nei vari settori, sono pesati in base alla loro importanza relativa calcolata rispetto agli altri dati presenti allo stesso livello e poi aggregati in parametri ed indicatori, salendo di livello, fino a determinare l'indice di resilienza complessivo. Si ha quindi una valutazione relativa di resilienza.

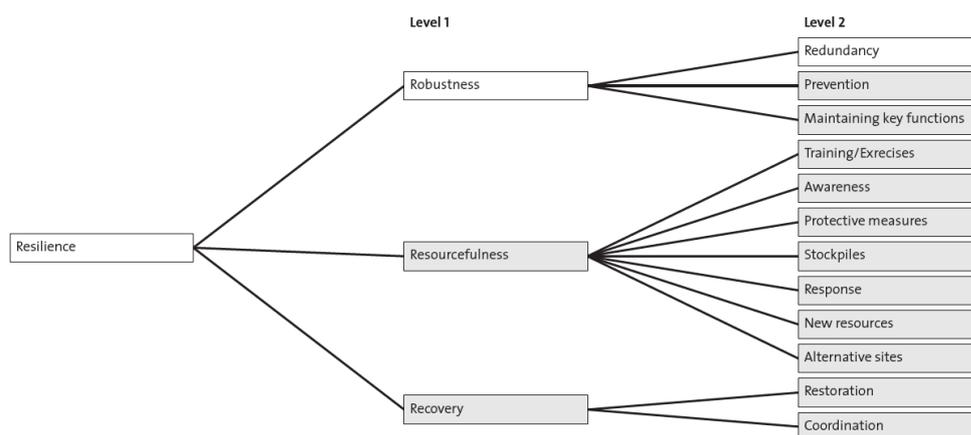


Figure 1: Resilience components at levels 1 and 2 of the ECIP Resilience Index (from Fisher *et al.*, 2010).

Aspetti positivi: si possono indagare aspetti molto specifici del sistema per poi aggregarli tra loro, possibile confrontare elementi infrastrutturali definiti con lo stesso indice o uno stesso elemento in tempi diversi.

Aspetti negativi: non fornisce una valutazione assoluta della resilienza e quindi non è applicabile per alcuni scopi.

- Quella proposta per valutare la resilienza del sistema di telecomunicazioni trans-oceanico, utile per le infrastrutture che sono costruite su reti. Si ha in questo caso una misura della resilienza (quindi resilienza assoluta) basata su due variabili: il valore della domanda soddisfatta (value delivery) che confronta la domanda (flusso) soddisfatta prima e dopo l'evento; il valore della domanda soddisfatta tra i nodi del sistema (value delivery between nodes in system), che è un valore caratteristico relativo ai flussi tra i nodi della rete. La misura della resilienza si basa sul calcolo delle due variabili, seguita dalla valutazione di aspetti inerenti la funzione del sistema (es. flusso totale del sistema, flussi totali tra i nodi, connessioni tra i nodi...).

Aspetti positivi: si ha una misura di resilienza di tipo assoluto in quanto basato sul calcolo a partire da dati disponibili, consente di individuare i punti critici della rete su cui investire e dove aumentare la ridondanza.

Aspetti negativi: il modello si limita a valutare la resilienza in base al livello di flusso garantito post-evento, senza considerare altri aspetti potenzialmente importanti.

Gli autori osservano infine come i processi di valutazione e le metodologie per definire gli indici di resilienza debbano essere dinamici e responsive (reattivi, sensibili al cambiamento) in quanto devono adattarsi al cambiamento delle vulnerabilità e degli obiettivi politici. Inoltre ad una valutazione delle caratteristiche tecniche di un'infrastruttura andrebbe affiancata anche una valutazione riguardante il valore sociale del servizio da essa fornito alla comunità.

Modelli per l'analisi della resilienza nella gestione dell'emergenza

Son C., Sasangohar F., Neville T., Peres S. C., and Moon J., "Investigating resilience in emergency management: An integrative review of literature," Appl. Ergon., vol. 87, no. February, p. 103114, 2020.
[17]

Nell'articolo viene raccolta, selezionata, riordinata e sintetizzata la letteratura che esamina la resilienza nel contesto della gestione dell'emergenza (EM = Emergency Management). Gli autori hanno studiato la resilienza da un punto di vista multidisciplinare, cercando di dare il loro contributo al campo che definito resilienza ingegneristica, che si pone lo scopo di accrescere le conoscenze riguardo ai sistemi socio-tecnici dove gli operatori e gli strumenti a disposizione agiscono unitamente per fronteggiare eventi inaspettati. Rispetto ad altri campi applicativi, la resilienza nella gestione dell'emergenza risulta tuttora un ambito poco esplorato, nonostante il numero crescente di disastri naturali che colpiscono la comunità.

Si riporta di seguito lo schema utilizzato dagli autori per effettuare la ricerca bibliografica e il relativo processo di inclusione/esclusione delle fonti.

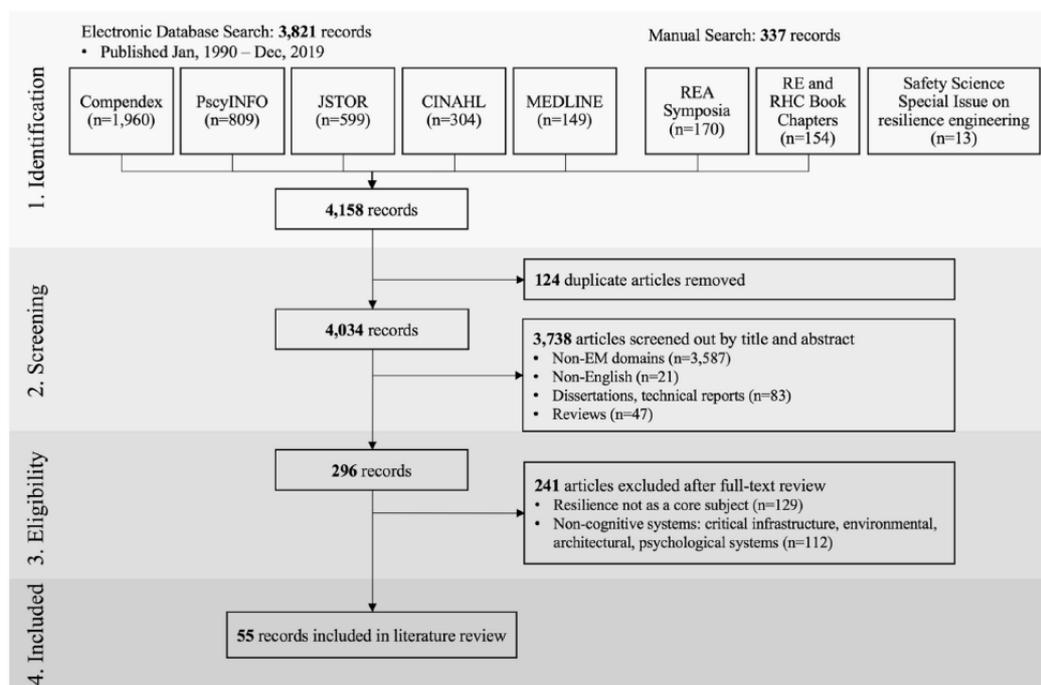


Fig. 2. PRISMA flow chart of literature search and inclusion/exclusion process.

Dai risultati della ricerca emerge come i metodi prevalentemente utilizzati siano di tipo qualitativo: ciò comporta maggiori problematiche relativamente alla generalizzazione e al confronto dei risultati.

In primo luogo ci si concentra sulla definizione di resilienza nella gestione delle emergenze. Dalla documentazione analizzata emergono tre aspetti principali: la variazione di comportamento del sistema al trascorrere del tempo attraverso le diverse fasi della gestione emergenziale (prevenzione, preparazione/mitigazione, risposta e ripristino); l'aspettativa di interruzione/distruzione, cioè la capacità di fronteggiare eventi inattesi, oltre che la presenza di risorse limitate e di tempi stretti; i mezzi per raggiungere la resilienza, cioè adattamento ed improvvisazione, affiancati da allocazione di compiti e risorse, informazione efficace e adeguamento delle procedure in emergenza. Tuttavia viene sottolineato come la resilienza si differenzi dalla capacità di adattamento a livello di temporaneità (impostazione proattiva vs reattiva) e dall'improvvisazione a livello di aspettativa (interruzioni attese vs inattese), oltre che per la capacità di allocazione delle risorse. In secondo luogo gli autori individuano delle dimensioni chiave/attributi caratteristici della resilienza nella risposta all'emergenza:

- Il senso comune/collettivo/consapevolezza (collective sensemaking) – consapevolezza collettiva sullo stato dell'evento condivisa tra gli operatori intervenuti (a volte si ricorre a procedure operative standard per fronteggiare il sovraccarico mentale a cui sono sottoposti);
- Team decision making – capacità di adattarsi alle condizioni provanti e variabili. Alcuni tratti sono: incertezza, rarità dell'evento, tempi stretti, presenza di più decisori. Alcune decisioni che il team si trova ad affrontare sono: allocazione delle risorse, comunicazione tra i first responders e con la popolazione colpita, salvaguardare i soccorritori dai rischi presenti. Per prendere decisioni giuste e condivise da tutti gli attori presenti è fondamentale avere un ampio sistema di condivisione delle informazioni.

- Armonizzazione tra WAI (work as intended) e WAD (work as done) – le differenze tra procedure programmate e procedure effettivamente seguite possono dipendere da molti fattori: le procedure operative standard possono non essere adeguate o aggiornate, la situazione reale può discostarsi da quella prevista.
- Interazione e coordinamento – lo scambio e la sintesi delle informazioni a disposizione favoriscono il problem-solving e il coordinamento tra i first responders consente di adattarsi meglio alle situazioni di incertezza.

Si riportano poi gli strumenti a disposizione degli operatori: mappatura geospaziale, registri degli eventi storici, applicativi di comunicazione mobile (instant messaging), sistemi di gestione delle informazioni integrati, strumenti di supporto alle decisioni.

Infine gli autori evidenziano come le esercitazioni di simulazione delle emergenze siano utilizzate per investigare sulla resilienza in emergenza. Solo in alcuni casi, però, vengono inseriti all'interno delle simulazioni elementi che le rendono più vicine alla realtà, come sviluppo dinamico degli scenari, suddivisione dei ruoli, procedure operative, complessità delle situazioni e casualità degli eventi.

Resilienza delle infrastrutture ferroviarie

Bešinović N., Resilience in railway transport systems: a literature review and research agenda, Transport Reviews, 2020 [3]

L'articolo vuole fornire una definizione della resilienza nel trasporto ferroviario in modo specifico per il settore e fornisce una revisione completa e aggiornata dei documenti sulla resilienza ferroviaria. L'attenzione si concentra su approcci quantitativi.

In primo luogo viene indagata la definizione di resilienza incorporando gli aspetti di vulnerabilità, sopravvivenza, risposta, recupero, mitigazione e preparazione.

In secondo luogo, le metriche di resilienza sono state classificate in due categorie: topologiche e di sistema:

Le metriche topologiche hanno origine nella complessa teoria delle reti. Il modo più comune è stato quello di esaminare la struttura topologica della rete e valutare le sue caratteristiche strutturali (statiche) assumendo un guasto di un singolo componente della rete perturbata ignorando le caratteristiche dinamiche del sistema.

Le metriche di sistema superano il limite dei metodi topologici e rappresentano la domanda e l'offerta del sistema, nonché le risposte all'interruzione e al recupero da esso.

In terzo luogo, gli approcci di resilienza sono stati classificati come basati su dati, topologici, di simulazione e di ottimizzazione.

I metodi basati sui dati esaminano direttamente i dati storici registrati che possono riflettere il cambiamento delle prestazioni del sistema in diversi scenari per valutare le proprietà del sistema, invece di modellare i meccanismi intrinseci del sistema. Inoltre, metodi statistici (ad esempio, statistiche descrittive e modelli statistici) possono essere utilizzati per elaborare i dati prima di essere utilizzati come indicatori di performance.

Gli approcci topologici utilizzano le metriche sviluppate nella complessa teoria delle reti che si basano sulle proprietà dei grafi e che più spesso eseguono valutazioni a livello di rete. In genere, gli approcci topologici per la valutazione della resilienza delle reti ferroviarie seguono la procedura indicata. Per una data rete di trasporto, i collegamenti vengono rimossi in modo casuale o seguendo una determinata strategia. In questo modo, l'evoluzione delle metriche viene monitorata e la resilienza è analizzata. Questo rappresenta un approccio di enumerazione completa e quindi porta a determinare gli elementi critici della rete.

I modelli di simulazione hanno di solito utilizzato metriche simili a quelle dell'approccio topologico, ma anche indicatori di sistema/prestazioni (ad es. ritardo, carichi di passeggeri) per valutare la performance di una rete. Più comunemente, la simulazione descrive la valutazione della resilienza basata su distribuzioni di perturbazioni teoriche e/o reali e modellando di conseguenza gli impatti e le reazioni della rete.

Per valutare la resilienza delle reti di trasporto ferroviario sono stati utilizzati anche modelli matematici di ottimizzazione. Inoltre, è stata eseguita una quantità significativa di lavoro sia utilizzando approcci a livello di rete che di scenario.

Gli approcci di ottimizzazione a livello di rete si sono concentrati sulla quantificazione o sul miglioramento della resilienza della rete.

Gli approcci di ottimizzazione specifici dello scenario si concentrano tipicamente sulla generazione di azioni ottimali di riprogrammazione del traffico per un determinato scenario di perturbazione, consistenti in disagi singoli o multipli, per ridurre al minimo l'impatto sui treni e/o sui passeggeri in termini di ritardi e/o cancellazioni. Questi studi specifici per scenari sono anche noti in letteratura come gestione delle perturbazioni.

Gli autori concludono che, per ottenere una valutazione più accurata della resilienza, sono necessarie metriche di sistema per catturare gli effetti sui servizi di trasporto e sulla domanda di trasporto. In particolare, le metriche di resilienza incentrate sulla domanda sono necessarie per catturare con precisione gli impatti sugli utenti dei sistemi di trasporto. Le misure topologiche sono più semplici da applicare in quanto necessitano di meno dati, ma tendono anche a fornire informazioni limitate sul sistema.

L'ottimizzazione matematica tende ad essere la più adatta per determinare, ad esempio, le combinazioni più critiche di collegamenti e le strategie ottimali di risposta/recupero grazie alla sua capacità di affrontare una maggiore complessità combinatoria. Inoltre, con l'aumento dei dati storici disponibili, gli approcci basati sui dati potrebbero diventare più ampiamente utilizzati per l'analisi ex-post delle interruzioni passate senza modellare esplicitamente il sistema consentendo valutazioni rapide. Infine, gli approcci topologici e di simulazione potrebbero essere utilizzati per valutazioni rapide di alcuni scenari di perturbazione, in genere anche per singoli guasti. Le simulazioni possono fornire importanti approfondimenti sul comportamento del sistema, ma possono richiedere troppo tempo.

Considerando che la ricerca sulla resilienza ferroviaria è ancora piuttosto limitata, ogni aspetto della resilienza richiede ulteriori approfondimenti. In primo luogo, l'attenzione deve essere focalizzata sui

cambiamenti operativi che possono essere effettuati a breve termine e con costi limitati, come l'investigazione degli adeguamenti del traffico per rispondere e recuperare rapidamente ed efficacemente da perturbazioni sia singole che multiple. In secondo luogo, la ricerca deve poi riguardare la progettazione di operazioni ferroviarie che siano anche preparate, cioè intrinsecamente flessibili e facilmente adattabili, per future perturbazioni. In terzo luogo, con il previsto aumento dell'impatto dei cambiamenti climatici nei prossimi decenni, è necessario affrontare gli investimenti a lungo termine e, pertanto, si dovrà prestare attenzione ai metodi per migliorare le reti di infrastrutture ferroviarie. In quarto luogo, lo sviluppo di modelli di previsione multidisciplinari (durata delle perturbazioni, previsione di pioggia/neve, inondazioni, ecc.) deve essere affrontato in parallelo con le altre ricerche, poiché una migliore previsione contribuirebbe ulteriormente ad aumentare l'accuratezza di tutti i futuri studi sulla resilienza.

Gli approcci per la valutazione e la pianificazione della resilienza nelle ferrovie sono ancora relativamente inesplorati. Ci si deve aspettare un aumento delle nuove metodologie, in particolare l'ottimizzazione e gli approcci basati sui dati e gli approcci combinati per affrontare la resilienza dei sistemi di trasporto ferroviario.