

Tecnologie GIS per l'analisi dell'accessibilità ferroviaria in emergenza

Fabio Borghetti, Paolo Gandini, Giovanna Marchionni, Marco Ponti

Politecnico di Milano, via Durando 38/A - 20158 Milano, +39.02.2399.5847, fabio.borghetti@polimi.it

Abstract

Il lavoro di ricerca propone un modello per il calcolo dell'accessibilità delle tratte ferroviarie a cielo aperto in condizioni di emergenza. L'obiettivo consiste nell'implementazione di uno Strumento innovativo di Supporto alle Decisioni utile sia per gestire le situazioni di emergenza sia per individuare archi della rete ferroviaria caratterizzati da limitata o nulla accessibilità, al fine di identificare interventi di carattere infrastrutturale e/o gestionali finalizzati al miglioramento dell'accessibilità stessa. Il metodo analizza le caratteristiche territoriali e contestuali della linea ferroviaria identificando quei parametri che concorrono all'implementazione dell'Indice di Accessibilità. Per valutare la validità e la consistenza del metodo, vengono riportate alcune applicazioni sulla linea storica Torino – Milano evidenziando il contributo che le tecnologie GIS potrebbero apportare all'efficacia ed alla sostenibilità del modello.

The research work proposes a model for the accessibility evaluation of open railway sections in emergency conditions. The aim is the implementation of an innovative Decision Support System able to manage emergency situations and to identify the railway links characterized by limited or low accessibility. The DSS could be used to identify infrastructural interventions to improve accessibility. The method analyzes the territorial and contextual features of the railway, identifying those parameters that contribute to the implementation of the Accessibility Index.

To assess the effectiveness of the method, the work shows an application on the Torino - Milano railway, highlighting the contribution that GIS technologies could make to the application model.

L'accessibilità ferroviaria in emergenza

Negli ultimi anni la cronaca nazionale e internazionale ha confermato quanto gli incidenti in ambito ferroviario siano caratterizzati da un'evidente difficoltà nella gestione dell'emergenza in termini di accessibilità da parte dei soccorsi sul luogo dell'evento. In linea generale, il sistema ferroviario, se confrontato con quello stradale, è caratterizzato da un numero di fatalità inferiore (Repubblica Italiana, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2009) (Agenzia nazionale Sicurezza Ferroviaria, 2010). Tuttavia, è comunque evidente l'esigenza di ridurre i potenziali effetti che potrebbero verificarsi in seguito a un evento rilevante.

Infatti, nonostante in ambito ferroviario gli eventi incidentali siano caratterizzati da basse probabilità di accadimento (Comunità Europea, 2004), è necessario considerare che il potenziale danno in termini di esposizione umana (utenti e personale) non è affatto trascurabile, soprattutto se si considerano i convogli passeggeri che possono arrivare ad avere una capacità superiore agli 800 posti (Trenitalia, 2005). I principali eventi occorsi, evidenziano come l'accessibilità al sistema ferroviario utilizzando veicoli di soccorso stradali non sia sempre garantita sull'intera linea per la presenza di condizioni territoriali che limitano o talvolta non permettono il passaggio di persone, di veicoli e di attrezzature.

Nella maggior parte dei casi, infatti, l'analisi tecnica dell'evento incidentale ha dimostrato come la risoluzione dello stesso sia stata complicata dalla difficoltà di poter sopraggiungere tempestivamente sul punto dell'incidente mettendo in sicurezza l'area ed evacuando le persone coinvolte.

In Figura 1 si riporta un'immagine contenente alcuni eventi rilevanti avvenuti in ambito nazionale e internazionale che hanno evidenziato l'importanza dell'accessibilità sul luogo dell'evento da parte delle squadre di soccorso.



Figura 1 - Incidenti ferroviari. Da sinistra: 2010 Italia; 2011 Cina; 2015 Austria.

Obiettivo del lavoro di ricerca

Come anticipato in precedenza, l'obiettivo della ricerca consiste nell'implementazione di uno Strumento di Supporto alle Decisioni – DSS in grado di valutare la vulnerabilità degli archi ferroviari a seguito di eventi rilevanti (Borghetti, 2014). In particolare, lo strumento consente un'analisi dell'accessibilità ferroviaria utilizzando il sistema stradale evidenziando i punti di connessione tra i due sistemi di trasporto (Borghetti, Malavasi, 2014). L'analisi di accessibilità non considera solo i punti di accesso convenzionali (cancelli) ma anche quei punti dove la tipologia di uso del suolo compreso tra strada e ferrovia consente il passaggio delle squadre di soccorso. Esso pertanto può costituire uno strumento utile alla mitigazione delle potenziali conseguenze (danno atteso) di eventi incidentali. L'attività di mappatura degli accessi ferroviari mediante l'impiego di GPS è stata svolta presso la Direzione Territoriale Produzione RFI di Firenze (Olivieri, 2013).

L'utilizzo dello strumento, indipendentemente dal soggetto che esegue l'analisi - Gestore dell'Infrastruttura o Servizi di Pronto Intervento - permette di pianificare interventi di carattere gestionale e/o infrastrutturale finalizzati al miglioramento dell'accessibilità ferroviaria.

Il risultato delle elaborazioni consiste nell'implementazione di mappe tematiche in grado di rappresentare il valore di accessibilità associato al generico elemento lineare ferroviario (Borghetti, Malavasi, 2014). Il valore di accessibilità associato a ciascun arco ferroviario è costituito da un Indice di Accessibilità - IA, inversamente proporzionale al grado di vulnerabilità: la struttura del modello di calcolo è caratterizzata da un approccio comparativo in quanto l'indice di accessibilità è di tipo adimensionale e rappresenta un valore convenzionale caratteristico di ciascun arco.

Ambiti di utilizzo e potenziali utenti

Gli ambiti di utilizzo riguardano una fase pre-evento e una post-evento: nella prima è possibile pianificare e programmare gli interventi; la seconda riguarda la gestione congiunta dell'emergenza in cui è richiesto l'arrivo delle squadre di soccorso nel minor tempo possibile. I potenziali utenti dello strumento sono, ad esempio, i Gestori dell'Infrastruttura Ferroviaria, i Servizi di Pronto Intervento, la Protezione Civile e le Prefetture.

Modello di accessibilità

Il modello di calcolo dell'accessibilità alla rete ferroviaria in seguito a eventi rilevanti prevede l'implementazione di due diversi Indici:

- Indice di Accessibilità Singolo - IAS
- Indice di Accessibilità Combinato - IAC.

Il primo, IAS_i , consiste nel calcolo del valore di accessibilità di ciascun arco i della rete ferroviaria senza considerare le interazioni tra archi contigui. In questo caso non si tiene conto del valore di accessibilità degli archi limitrofi. Può accadere, infatti, che un arco presenti un valore limitato o nullo di accessibilità ma sia interposto tra due archi a elevata accessibilità: l'arco sarà caratterizzato

da un valore di accessibilità (anche nullo) indipendentemente dal fatto che i due archi limitrofi siano accessibili e che permettano quindi di accedere anche all'arco in esame.

Nel secondo caso, invece, l'indice di accessibilità combinato - IAC_i considera le reciproche interazioni tra archi contigui. La formulazione analitica è quindi:

$$IAC_i = k * IAS_{i-1} + IAS_i + k * IAS_{i+1} \quad [1]$$

dove:

IAC_i = Indice di Accessibilità Combinato dell'arco i - *esimo*

k = coefficiente di vicinanza/contiguità

IAS_{i-1} = Indice di Accessibilità Singolo dell'arco immediatamente precedente

IAS_i = Indice di Accessibilità Singolo dell'arco i -esimo

IAS_{i+1} = Indice di Accessibilità Singolo dell'arco immediatamente successivo.

In questo modo all'interno del modello è considerata la possibilità che un arco avente accessibilità limitata possa comunque essere raggiunto utilizzando gli archi limitrofi (contigui) con accessibilità maggiore, valutata attraverso il coefficiente k .

Il territorio circostante la linea ferroviaria è suddiviso in buffer di ampiezza variabile in funzione del livello di dettaglio e di precisione atteso e dell'onere computazionale: la dimensione degli archi e dei buffer definisce in modo univoco una cella che permette di discretizzare il territorio in elementi finiti.

L'individuazione dei parametri e l'aggregazione in indicatori

Le variabili elementari identificate prendono il nome di parametri del modello. Un singolo parametro non sempre fornisce un'informazione completa ed esaustiva: in alcuni casi, infatti, è necessario correlare tra loro più parametri in indicatori.

Ad esempio, la presenza di un passaggio a livello - PL su un arco, contribuisce ad aumentarne il valore di accessibilità permettendo l'accesso alla rete ferroviaria da parte delle squadre di soccorso. Tuttavia la presenza di un passaggio a livello non può essere considerata sufficiente per determinare l'accessibilità dell'arco stesso. È, infatti, necessario considerare anche se su un arco siano presenti più PL e in caso affermativo la loro interdistanza: come illustrato di seguito, l'aggregazione di questi due parametri, presenza e interdistanza tra PL costituisce un indicatore.

Nel presente lavoro i parametri individuati, riportati in Tabella 1, corrispondono a 15 informazioni da inserire nel modello, le quali vengono successivamente aggregate in 9 indicatori.

Parametro		Indicatore	Descrizione	Elementi di accessibilità al sistema
1	numero di passaggi a livello	1	IPL	passaggio a livello
2	interdistanza passaggi a livello			
3	numero stazioni/fermate	2	ISF	stazione/fermata
4	interdistanza stazioni/fermate			
5	estensione di strade carrabili parallele	3	IEST	rete stradale carrabile
6	distanza dalla ferrovia della strada carrabile parallela			
7	superficie piazzale di emergenza	4	IPI	piazzale di emergenza
8	distanza dalla ferrovia del piazzale di emergenza			
9	limiti di massa al transito dei veicoli	5	ILI	limiti di massa e sagoma
10	limiti di sagoma al transito dei veicoli			
11	estensione di barriere o cancellate di protezione valicabili	6	IBV	barriere o cancellate di protezione valicabili
12	estensione di barriere o cancellate di protezione invalicabili	7	IBI	
13	classe di uso del suolo	8	IUS	uso del suolo
14	estensione della classe di uso del suolo			
15	tempo di arrivo dei Vigili del Fuoco	9	IARR	tempo di arrivo dei Vigili del Fuoco
				Tempo di intervento

Tabella 1 - Parametri e indicatori del modello di accessibilità.

In questa fase della ricerca si è ritenuto utile concentrare l'attenzione su alcuni degli indicatori considerati rappresentativi del problema per ognuno dei quali è stato implementato un sotto modello di calcolo. Più nello specifico il modello è stato implementato in funzione di:

- IPL_i - indicatore relativo alla presenza di un passaggio a livello
- ISF_i - indicatore relativo la presenza di una stazione/fermata
- $IEST_i$ - indicatore relativo alla presenza ed estensione di una rete stradale carrabile
- IUS_i - indicatore relativo alla destinazione di uso del suolo
- $IARR_i$ - indicatore relativo al tempo di arrivo dei Vigili del Fuoco.

L'indice di accessibilità singolo IAS_i dell'arco i -esimo consiste, quindi, nella definizione di un numero adimensionale; esso viene determinato come funzione linearmente dipendente degli indicatori sopra descritti utilizzando dei pesi di importanza relativa:

$$IAS_i = \alpha * IPL_i + \beta * ISF_i + \gamma * IEST_i + \delta * IUS_i + \varepsilon * IARR_i \quad [2]$$

Un caso applicativo: la linea Torino – Milano

Il modello proposto è stato applicato alla linea storica ferroviaria Torino – Milano al fine di verificare la validità e l'affidabilità dei risultati. Come si evince dall'osservazione di Figura 2, l'indice di accessibilità è stato determinato considerando una lunghezza dell'arco ferroviario pari a 100 m e un'area di studio (buffer) pari a 150 m a sinistra e destra della linea ferroviaria.

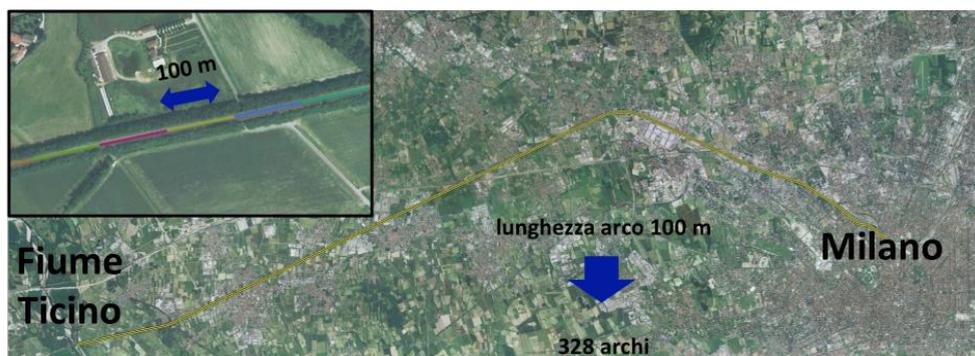


Figura 2 - Segmentazione della ferrovia in archi di lunghezza pari a 100 metri.

Sono stati definiti 6 buffer all'interno dell'area di studio, aventi ampiezza variabile come illustrato in Figura 3:

- Buffer 1: 10 m
- Buffer 2: 20 m
- Buffer 3: 30 m
- Buffer 4: 30 m
- Buffer 5: 30 m
- Buffer 6: 30 m.



Figura 3 – Estensione dell'area di studio composta da buffer.

Definendo buffer con ampiezza crescente è stato possibile garantire un maggiore livello di dettaglio in prossimità della ferrovia, compatibilmente con l'onere computazione atteso.

I principali dati utilizzati per le elaborazioni sono:

- Ortofoto Regione Lombardia
- DUSAF - Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali
- Grafo rete ferroviaria
- Grafo della rete stradale
- Localizzazione dei passaggi a livello
- Localizzazione delle stazioni/fermate ferroviarie
- Localizzazione dei comandi e distaccamenti dei Vigili del Fuoco.

In Figura 4 sono riportati gli strati informativi della rete stradale e ferroviaria costituiti da geometrie di tipo lineare (arco) cui sono associati attributi quali, ad esempio, la lunghezza dell'arco, il numero di binari, la tipologia del tracciato, la velocità di percorrenza, il numero di corsie ecc.

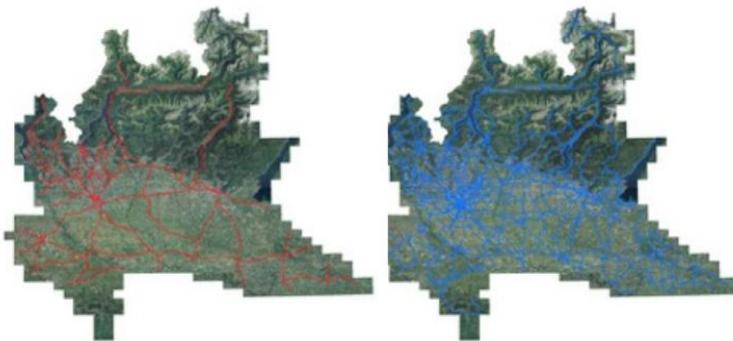


Figura 4 – Grafo della rete ferroviaria (a sinistra) e stradale (a destra) della Regione Lombardia

In Figura 5 è riportato il layer utilizzato per la determinazione dello stato attuale del territorio circostante l'area di studio. Il DUSAF di Regione Lombardia costituisce una banca dati omogenea su tutto il territorio regionale che fotografa la Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali e che viene comunemente utilizzata come strumento di analisi e monitoraggio per la pianificazione territoriale in quanto consente di leggere lo stato attuale dei luoghi come risultante delle modifiche intervenute in passato e di monitorare quelle in atto prefigurando quelle future.

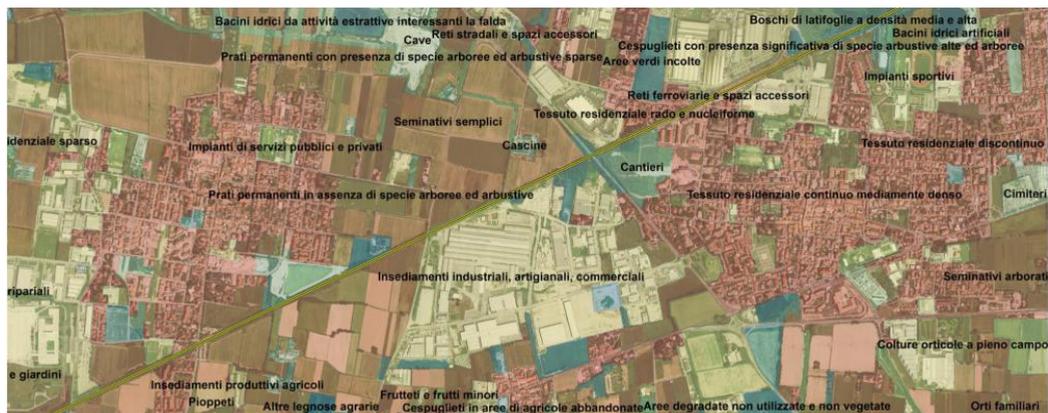


Figura 5 – Rappresentazione delle classi di uso del suolo DUSAF i margini della ferrovia.

Per quanto riguarda, ad esempio, l'indicatore di estensione rete stradale carrabile è stato valutato per ciascuna cella lo sviluppo della rete stradale e si è determinato un punto baricentrico rispetto alla rete stradale, considerato come punto di arrivo dei soccorsi (Figura 6).



Figura 6 - Calcolo dell'estensione stradale (in rosso) e del punto baricentrico (in verde) all'interno di una cella.

Successivamente, mediante l'utilizzo di strumenti GIS avanzati, è stato possibile determinare gli itinerari più veloci (e quindi il tempo di percorrenza) tra i punti di partenza dei Soccorsi (triangolo rosso) e i punti baricentrici presenti in ogni cella (Figura 7).

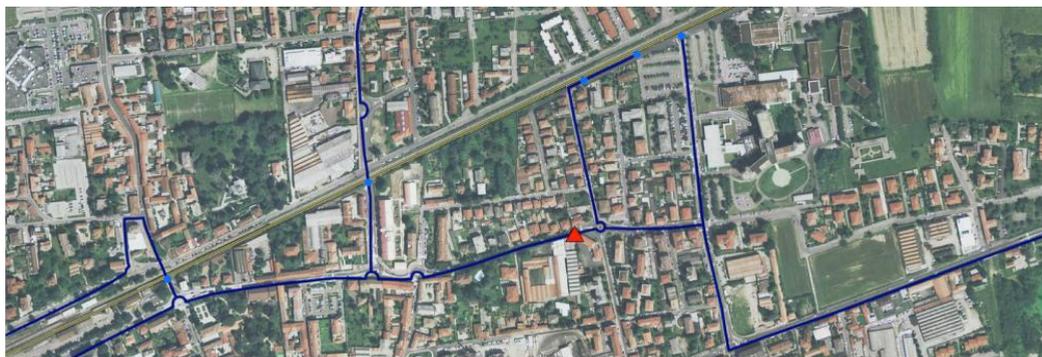


Figura 7 - Calcolo del tempo di arrivo dei Vigili del Fuoco sul luogo dell'incidente (itinerario in blu).

Rappresentazione dei risultati

Per presentare i risultati del lavoro di ricerca sono stati individuati due casi rappresentativi. In Figura 8 è illustrato il caso 1: una situazione contraddistinta da elevati valori di accessibilità per gli archi 82, 83, 88, 94 e 95 colorati in verde. Se si considera l'indicatore *IAS*, si può verificare che i 5 archi ferroviari sono attraversati da una strada carrabile (colore blu) e le classi di uso del suolo sono associate alla tipologia "reti ferroviarie e spazi accessori", "tessuto residenziale discontinuo", "impianti sportivi" e "seminativi semplici", che garantiscono valori elevati di accessibilità.

Sugli archi 94 e 95 sono, inoltre, presenti rispettivamente un passaggio a livello e una stazione che contribuiscono in modo significativo a determinare i valori di *IAS* e *IAC*.

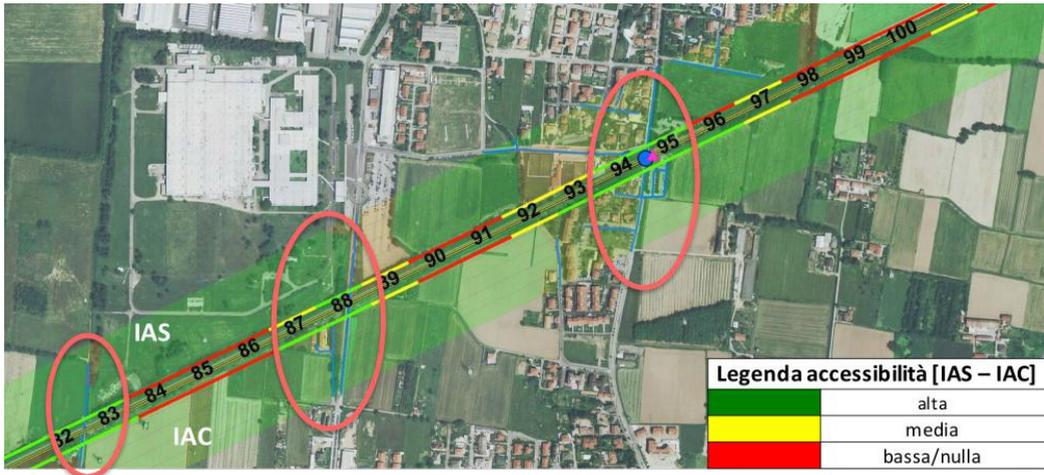


Figura 8 - Rappresentazione cromatica degli indici IAS e IAC. Caso1.

In Figura 9 è rappresentato il caso 2 in cui si evidenzia una situazione caratterizzata da limitata o assente accessibilità alla tratta ferroviaria. Come si evince dall'osservazione della mappa, infatti, non è presente nelle vicinanze una rete stradale carrabile e l'uso del suolo è caratterizzato da limitati coefficienti di accessibilità legati alla presenza di "boschi di latifoglie a densità media e alta". Il buffer che determina l'area di studio a destra e sinistra della tratta ferroviaria presenta ampie e diffuse colorazioni rosse. Se si analizza *IAC*, con particolare riferimento agli archi 34 e 35, si evince una colorazione gialla rispetto a quella rossa associata a *IAS*: il contributo dell'arco 36, contraddistinto da un elevato valore di accessibilità (colore verde), viene ripartito tra gli archi contigui facendone aumentare il valore dell'indicatore.

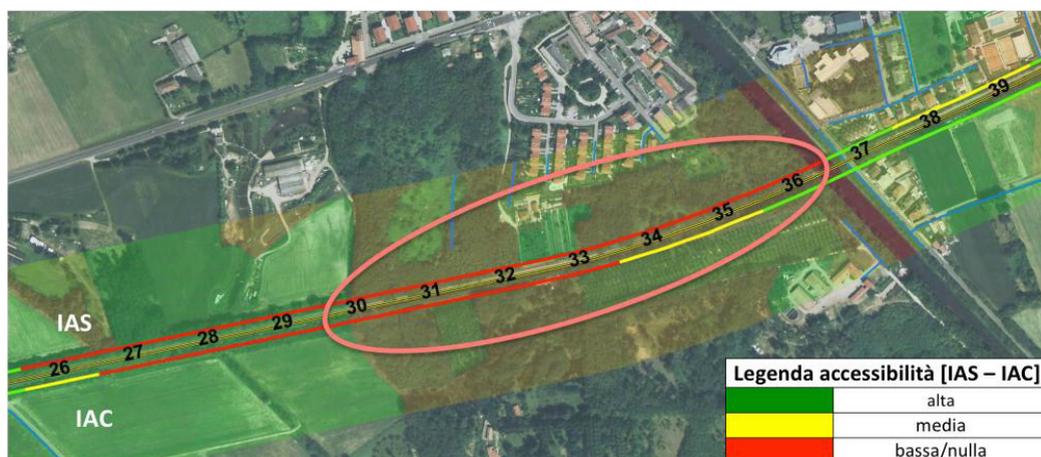


Figura 9 - Rappresentazione cromatica degli indici IAS e IAC. Caso2.

Conclusioni

Il modello di calcolo implementato nel lavoro di ricerca è stato applicato alla linea ferroviaria storica Torino – Milano al fine di valutare l’efficacia delle elaborazioni e dei risultati attesi. Le mappe di accessibilità descritte nel paragrafo precedente, per i due casi ritenuti rappresentativi, hanno confermato un buon livello di corrispondenza con la realtà.

Per quanto riguarda il modello implementato, una delle principali caratteristiche è quella di rappresentare in tutto o in parte gli indicatori che costituiscono l’indice di accessibilità in modo da elaborare mappe tematiche relative a un solo indicatore o a più indicatori aggregati in funzione delle specifiche esigenze e necessità dell’utente. Un’ulteriore peculiarità riguarda i parametri, la loro aggregazione in indicatori e l’indice di accessibilità, che sottendono al metodo di analisi e calcolo. Essi sono stati identificati e determinati affinché l’applicazione dello strumento non sia vincolata in uno specifico ambito territoriale e contestuale. L’utente è, quindi, in grado di variare, qualora se ne verificasse la necessità, alcuni coefficienti e pesi (es. lunghezza dell’arco ferroviario, area di studio, buffer) in funzione del livello di dettaglio atteso.

Riferimenti bibliografici

F. Borghetti (2014), “Analisi di vulnerabilità della rete ferroviaria: un modello di accessibilità delle tratte a cielo aperto per i soccorsi in emergenza”. Tesi di Dottorato in Infrastrutture e Trasporti XXVI Ciclo - Curriculum in Ingegneria Ferroviaria. Università di Roma La Sapienza.

F. Borghetti, G. Malvasi (2014), “Accessibilità stradale alle reti ferroviarie in casi di emergenza”. Le Strade, vol. 7; p. 7, ISSN: 0373-2916.

F. Borghetti, G. Malvasi (2014), “Tecnologie GIS per l’analisi dell’accessibilità ferroviaria in emergenza”. GEOMEDIA, Supplemento al n° 2-2014, ISSN: 1128-8132

A. Olivieri (2013), “Mappatura dinamica accessi della sede ferroviaria”. Tesi di Master Universitario di II livello in Ingegneria delle Infrastrutture e dei Sistemi Ferroviari. Università di Roma La Sapienza.

Agenzia Nazionale Sicurezza Ferroviaria (2010), “Rapporto Annuale sulla Sicurezza delle ferrovie italiane ricadenti nelle competenze dell’Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie”

Repubblica Italiana, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2009), “Rapporto sull’incidentalità nei trasporti”. Ufficio di statistica

Trenitalia (2005), “Le nuove Carrozze a due piani per i Treni ad Alta Capacità - Vivalto”.

Comunità Europea (2004), “Direttiva 2004/49/CE - Direttiva in materia di sicurezza per le ferrovie comunitarie”.