

DEFINIZIONE E IMPLEMENTAZIONE DI UN MODELLO PER LA VALUTAZIONE DEI TEMPI DI INTERVENTO PER EMERGENZE SU LINEA FERROVIARIA

DEFINITION AND IMPLEMENTATION OF A MODEL FOR THE EVALUATION OF INTERVENTION TIMES FOR EMERGENCIES ON RAILWAY LINES

Francesco Raimondo^a, Alfonso Vitti^b, Paolo Zatelli^b

^a Trenitalia s.p.a. – Trento, f.raimondo@trenitalia.it

^b Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica - Università di Trento, alfonso.vitti@unitn.it, paolo.zatelli@unitn.it

PAROLE CHIAVE: modello spazio-temporale, emergenze, rete ferroviaria, soccorso

KEY WORDS: space-time model, emergencies, rail network, rescue

RIASSUNTO

Le emergenze su linea ferroviaria presentano aspetti di notevole criticità riconducibili alle particolari caratteristiche della rete. Il lavoro mira alla definizione di un modello per la valutazione dei tempi minimi necessari al personale tecnico qualificato al soccorso (Vigili del Fuoco e Personale Sanitario) per il raggiungimento del luogo di una possibile emergenza che si presentasse sulla linea ferroviaria. A partire dalle centrali operative, viene calcolato il percorso e il tempo di percorrenza per raggiungere il punto sulla rete stradale più vicino al punto di intervento sulla rete ferroviaria. A partire dal punto individuato lungo la rete stradale, viene calcolato il tempo necessario per percorrere a piedi il tragitto più breve che permette di raggiungere la rete ferroviaria. Questo secondo tempo viene valutato tenendo conto delle caratteristiche morfologiche e di uso del suolo e delle caratteristiche delle squadre di soccorso.

Come informazione alternativa viene calcolato il percorso e il tempo di percorrenza per raggiungere, sempre a partire dalle centrali operative, il punto di accesso alla rete ferroviaria più vicino al punto di intervento. Viene poi calcolato il tempo di percorrenza “a piedi” lungo la linea. La rete ferroviaria viene descritta attraverso punti equi-spaziati. La valutazione del tempo minimo viene effettuata in modo automatico per ogni punto della rete. I vari tempi vengono combinati nella definizione di un indice sintetico che descrive il livello di accessibilità della rete. Vengono prodotte delle mappe dell'indice di accessibilità e dei vari tempi considerati. Le mappe costituiscono un elemento di informazione utile nella gestione delle emergenze, nella analisi dello stato di sicurezza della rete e nella programmazione di provvedimenti volti al suo miglioramento.

ABSTRACT

Emergencies on railway lines present critical aspects due to the intrinsic characteristics of a railway line in itself and to its peculiar use. A model for the evaluation of the minimal time required, for technical and medical personnel, to reach the emergency place starting from fire stations and hospitals is defined and implemented in the GRASS GIS. Starting from the known positions of fire stations and hospitals, the minimum time required to travel the shortest path to the point of the road network closer to the point of the emergency place on the railway line is computed. A second time is computed considering the shortest path connecting the previously found point on the road network to the emergency point on the railway line. This second time is evaluated keeping into account the characteristics of the rescue squad supposed to operate on the emergency spot, and the characteristics of the ground morphology and coverage. The sum of these two times is then compared to the sum of a) the time required to travel from fire stations and hospitals to the point on the road network from which it is possible to access the railway line and b) the time required to walk along the railway line from the access point to the emergency spot. The railway line is described by a set of evenly spaced points, at a mutual distance of 100m; the evaluation of the minimum access time is carried out for each point automatically using a scripted procedure in GRASS GIS. The times described above are combined to compute an index expressing in a compact way the accessibility level of each point of the railway line. The accessibility index and the minimum access times are represented on maps which can support crisis management and at the same time provide useful information for the analysis of the safety state of a railway line, helping in the planning of its improvements.

INTRODUZIONE

Lo sviluppo di procedure automatiche per l'ottimizzazione dei tempi di intervento di squadre di soccorso non è nuovo (Berger e Lo, 2015) (Yang et al., 2013) (Kratzke et al., 2010) (Kubalík et al., 2004), ma in ambito ferroviario presenta caratteristiche particolari:

1. il tipo di emergenze che riguardano la rete ferroviaria è particolare;
2. la gestione delle emergenze è particolare;
3. la rete lungo la quale si manifesta l'emergenza (rete ferroviaria) è diversa da quella su cui si muovono i soccorritori (rete stradale), con pochi punti di contatto (accessi).

Ciò giustifica lo sviluppo di specifici strumenti, mentre in ambito ferroviario la ricerca si è finora concentrata sulla definizione ottimale delle procedure di soccorso (Takagi, 2010) (Xiaoqing et al., 2006) ed il relativo addestramento del personale (Durrani, et al. 2012).

Il sistema ferroviario è gestito da soggetti distinti. Il gestore dell'infrastruttura ferroviaria (in Italia RFI) coordina le attività concernenti la linea stessa: la circolazione dei treni, la gestione dei lavori ordinari e straordinari, la gestione delle emergenze, ecc. Le imprese ferroviarie sono responsabili dei treni che circolano sulla rete. Generalmente sono suddivise in trasporto viaggiatori e in trasporto di merci.

Il sistema ferroviario ha normalmente alti standard di sicurezza dovuti a più livelli di controllo affidati sia al personale che alle strumentazioni. Per tale motivo la flessibilità è ridotta. Le procedure di comunicazione sono spesso complesse, perché il sistema è complesso e diversi soggetti sono coinvolti.

I rischi maggiori per l'uomo sono principalmente dovuti a investimento e folgorazione oltre tutti i casi di collisione tra rotabili e sversamento di materiale pericoloso. Gli scenari che possono crearsi in una situazione di emergenza sono particolari perché molteplici e di gravità difficilmente calcolabile a priori. A fronte dei rischi, gli interventi sulla rete sono condizionati dall'accessibilità che a volte può risultare estremamente complessa. Le linee in pianura e in aperta campagna presentano difficoltà di intervento diverse rispetto a tratti che attraversano catene montuose o tratti collinari. I viadotti e le gallerie sono i tratti dove un qualsivoglia scenario incidentale può generare gravità maggiore perché gli accessi sono pochi, limitati spesso ai due imbocchi.

La particolarità della gestione delle emergenze deriva dai tanti scenari possibili, dai tanti soggetti coinvolti, dalle comunicazioni complesse, quindi lente, e dall'accessibilità alla rete ferroviaria dalla rete stradale.

Lo scopo di questo lavoro è, da un lato, quello di individuare i tempi di intervento, associando a punti lungo la linea ferroviaria una serie di informazioni quali: accessibilità, minor tempo squadra di intervento professionista, minor tempo squadra di intervento volontaria, minor tempo squadra personale sanitario, accesso alla sede ferroviaria. Nel lavoro si è poi definito e implementato un modello originale per la caratterizzazione delle linee ferroviarie attraverso un indice sintetico funzione di celerità dei soccorritori e accessibilità alla rete.

Nello sviluppo del modello, si deve considerare che l'emergenza si manifesta su una rete (rete ferroviaria) diversa da quella su cui si muovono i soccorritori (rete stradale). Il passaggio da una rete all'altra può avvenire in due modalità differenti, a seconda che esista o meno un accesso diretto alla rete ferroviaria in prossimità del luogo di intervento. Il modello messo a punto valuta i tempi minimi nei due casi ed indica a quale corrisponde il tempo minore.

1. L'EMERGENZA IN LINEA

I rischi nell'esercizio ferroviario sono molteplici e possono coinvolgere chiunque. Per evitare ulteriori rischi a seguito di una richiesta di emergenza, si attivano delle procedure definite da rigidi protocolli di comportamento. Generalmente, è il personale del treno che richiede (formalmente) al gestore della linea l'intervento di una squadra di soccorso comunicando il punto sulla linea dove intervenire. Una volta acquisite tutte le informazioni possibili, è il gestore stesso che contatta la struttura di emergenza (Vigili del Fuoco o Personale Sanitario) bloccando preventivamente la circolazione e, se occorre, togliendo tensione dalla linea aerea. Le procedure di comunicazione non sono immediate perché coinvolgono più soggetti. Gli scenari sono svariati, difficilmente caratterizzabili a priori e le informazioni non sempre sono chiare.

Ad esempio, nell'incidente del 12/04/2010 sulla linea Merano-Malles - Bolzano, Italia – le prime squadre di soccorso sono state allertate sia per un "intervento tecnico" che per un "incidente ferroviario". Anche altre esercitazioni effettuate sul territorio hanno presentato complessità comunicative che hanno inciso sulle tempistiche dell'intervento stesso.

2. L'INTERVENTO DI SOCCORSO

Le tipologie di squadre che rispondono alla chiamata d'emergenza possono essere molteplici, con professionalità e dislocazione sul territorio differenti. Per l'implementazione di questo modello sono state considerate tre classi di squadre di intervento: *Classe 1*: Vigili del Fuoco corpo professionista; sono presenti solo nei centri principali, altamente preparati e dotati di mezzi e strumentazione. Hanno tempi accessori di preparazione trascurabili in quanto sono sempre disponibili. *Classe 2*: Vigili del Fuoco corpo volontario; sono presenti nei centri periferici ma meno addestrati e con dotazioni minori rispetto al corpo professionista. Hanno tempi accessori di preparazione mediamente lunghi in quanto non permanentemente presenti in caserma. *Classe 3*: Personale Sanitario; è presente solo nei centri principali. Il suo intervento è successivo rispetto a quello dei Vigili del Fuoco. I tempi di preparazione possono essere trascurati.

2.1 Percorsi

La scelta del percorso ottimale per raggiungere il luogo di intervento è sempre stabilita dai soccorritori e dipende dalle informazioni comunicate in prima istanza dal gestore della rete ferroviaria in merito alla situazione in essere.

Il passaggio da rete stradale a ferroviaria non è immediato e, in certe circostanze, è difficoltoso e poco intuitivo.

Per descrivere al meglio la linea ferroviaria si crea un set di punti equi-spaziati lungo la linea stessa. La distanza fra i punti, 100 metri, è scelta in modo da bilanciare la necessità di un carico computazionale accettabile ed una buona caratterizzazione delle linee ferroviarie.

Ad ogni punto così individuato (Figura 1, punti in rosso), attraverso il calcolo della minima distanza tra le due reti (Figura 2), sono associate le coordinate del punto più vicino sulla strada (Figura 3, punti in verde).

Si possono identificare due tipologie di percorso di accesso alla rete ferroviaria da rete stradale:

- tipo_1*: nei punti di contatto tra rete stradale e rete ferroviaria (in gergo "accessi") come stazioni, passaggi a livello, posti di manutenzione, ecc. (Vedi Figura 4);
- tipo_2*: attraversando il territorio che separa le due reti.

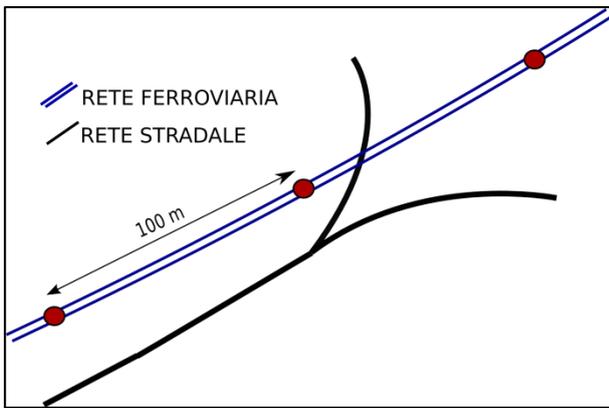


Figura 1. Punti sulla ferrovia equi-spaziati di 100 m.

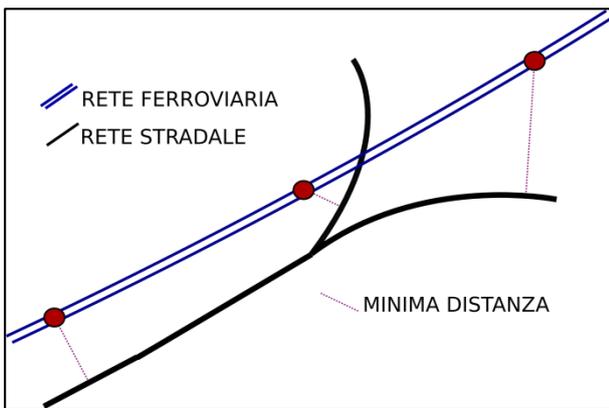


Figura 2. Individuazione della minima distanza tra le due reti.

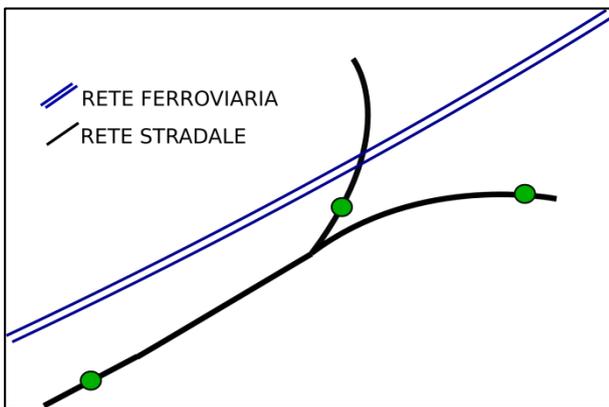


Figura 3. Individuazione dei punti di minima distanza sulla rete stradale, in verde.

Nel primo caso (tipo_1), si individua l'accesso più vicino al luogo dell'emergenza. Il tempo di percorrenza viene stimato come un tempo "stradale" più un tempo "a piedi". Il primo è calcolato considerando di coprire il tragitto con mezzi di trasporto a motore, il secondo considerando di coprire il tragitto sulla massciata ferroviaria a piedi.

Nel secondo caso (tipo_2), si individua il punto sulla rete stradale più vicino al punto della rete ferroviaria interessata all'emergenza. Si parametrizza poi il territorio interposto fra i due punti (vedi Sezione 3). Il tempo di percorrenza viene stimato come un tempo "stradale" più un tempo "a piedi" sul territorio che separa le due reti.

Per entrambe le tipologie di percorso, il tempo totale di accesso (t_{i-mod0}) è costituito dalla somma di due contributi di tempo: uno stradale (t_s) ed uno a piedi (t^*):

$$t_{i-mod0} = t_s + t^* \quad (1)$$

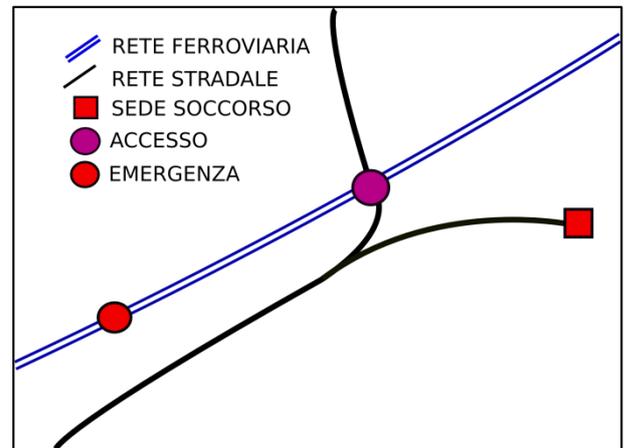


Figura 4. Esempio di punto di contatto tra rete stradale e ferroviaria definito "accesso".

2.1.1 Percorso attraverso accessi - tipo_1

La determinazione del percorso di distanza minima dalla sede di una squadra ad un punto sulla ferrovia usando un accesso avviene in tre passi:

1. per ogni punto sulla rete ferroviaria si individua il punto di accesso più vicino e gli si associa la distanza e il tempo di percorrenza (a piedi) lungo la rete ferroviaria;
2. per ogni accesso è valutato il tempo di percorrenza dalla sede di ogni squadra di soccorso sulla rete stradale;
3. per ogni punto sulla ferrovia viene quindi calcolato un tempo totale, somma del tempo sulla strada e di quello lungo la ferrovia.

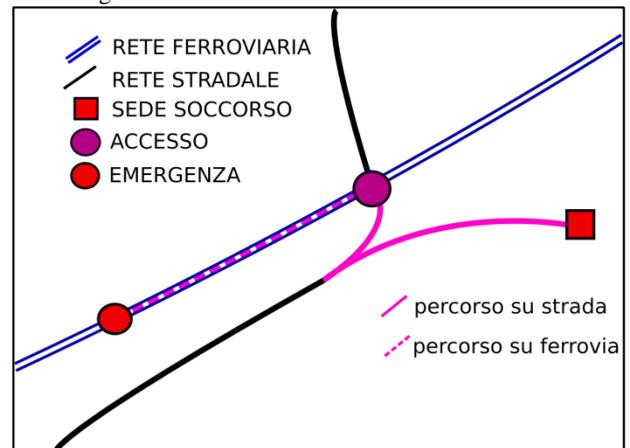


Figura 5. Esempio di percorso di tipo_1. A tratto continuo in viola è rappresentato il percorso stradale della squadra di intervento dalla sede del soccorso all'accesso ferroviario più vicino all'emergenza. A tratteggio in viola è rappresentato il percorso a piedi lungo la linea ferroviaria.

Per ogni tipologia di squadra, si considera quella territorialmente più vicina. Vengono quindi associati ad ogni punto sulla ferrovia le coordinate del punto di accesso più vicino (sosta dei mezzi di soccorso) e il tempo di intervento per ogni squadra.

Per il tratto "a piedi" lungo la rete ferroviaria, viene assunta una velocità di percorrenza costante, trascurando pertanto le difficoltà connesse alla pendenza e alla lunghezza del tratto da percorrere.

2.1.2 Percorso attraverso il territorio - tipo_2

In molte zone gli accessi risultano lontani, ed è quindi preferibile raggiungere il punto sulla ferrovia dal punto della rete stradale più vicino (Figura 6).

La determinazione di questo percorso avviene attraverso quattro passi:

1. per ogni punto sulla rete ferroviaria viene individuato il punto sulla rete stradale più vicino;
2. per ogni punto individuato sulla rete stradale viene valutato il tempo di percorrenza dalla sede di ogni squadra di soccorso;
3. per ogni tratto di connessione tra le due reti, viene stimato il tempo di percorrenza a piedi, funzione della morfologia del territorio e dell'uso del suolo;
4. per ogni punto sulla ferrovia viene quindi calcolato un tempo totale, somma del tempo sulla strada e di quello lungo la ferrovia.

I tempi stradali sono calcolati analogamente a quanto descritto in 2.1.1. Il tempo di cammino (t^*) nel tratto tra le due reti (Figura 6, tratteggio verde) dipende dalle pendenze e dalla copertura del suolo ed è calcolato come somma di due termini:

$$t^* = t_E + t_P \quad (2)$$

dove:

t_E = tempo Escursionistico in funzione delle pendenze;

t_P = tempo Peggiorativo di attraversamento del territorio, tempo aggiuntivo dovuto alla difficoltà di attraversamento di alcuni tipi di terreno (vedi Sezione 3.2).

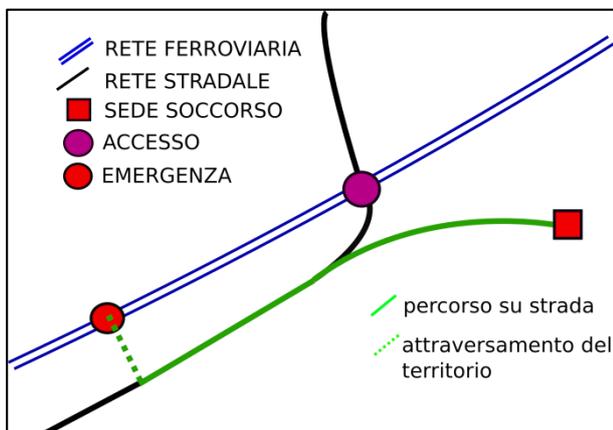


Figura 6. Esempio di percorso di tipo_2. Il tratto continuo in verde rappresenta il percorso su strada della squadra di soccorso dalla sede al punto più vicino all'emergenza. In verde a tratteggio è rappresentato il percorso attraverso il territorio per raggiungere il punto di emergenza sulla ferrovia.

Il tempo (t_E) in funzione delle pendenze si calcola secondo la regola di Naismith (Aitken, 1977) (Langmuir, 1984). Questa venne sviluppata per applicazioni in ambito escursionistico dallo scalatore scozzese W. Naismith alla fine del XIX secolo, è tutt'oggi utilizzata per la stima di escursioni con dislivello.

Il tempo peggiorativo di l'attraversamento del territorio (t_P) dipende essenzialmente dalle caratteristiche del terreno che si interpone tra le due differenti reti. Per citare un esempio, a parità di pendenza, molto difficile sarà oltrepassare un bosco molto fitto, piuttosto che un prato o un'area urbana.

La somma di t_E e t_P , come definito da (2), è la stima del tempo totale di cammino che idealmente un soccorritore impiega per raggiungere il luogo dell'incidente provenendo dalla strada dove ha lasciato il mezzo gommato.

3. IL MODELLO DI CALCOLO

Il modello calcola separatamente i tempi derivanti da variabili infrastrutturali e tempi derivanti da variabili ambientali.

3.1 Tempi stradali (t_S)

Per l'analisi della rete stradale, ad ogni tipo di strada è assegnato come costo la velocità massima di transito di un dato mezzo di soccorso. Nel lavoro non si sono considerati i tratti stradali a doppia carreggiata per il forte vincolo viario. L'inclusione nel modello di tali tipologie stradali esige un dataset "viabilità" di origine molto particolarizzato dove siano definiti in maniera inequivocabile tutti i vincoli infrastrutturali e/o architettonici. Per evitare errori grossolani come possibili attraversamenti a piedi di corsie autostradali o barriere fonoassorbenti o similari impossibili da scavalcare, le strade a doppia carreggiata non sono state prese in considerazione. La messa in sicurezza di questi tratti stradali per l'effettuazione di un intervento di soccorso comporterebbe tempi tali da renderne l'utilizzo sempre svantaggioso rispetto alle alternative. Questa semplificazione è avvalorata anche dal fatto che tutte le sedi di soccorso sono ubicate in zone centrali, non connesse direttamente a tali vie di comunicazione.

Il tempo stradale è così definito semplicemente come il rapporto spazio/velocità.

3.2 Tempo escursionistico (t_E) e peggiorativo (t_P)

Per il calcolo del tempo escursionistico (t_E), funzione della morfologia del territorio, viene adoperata la regola di Naismith con gli aggiustamenti di Aitken (1977) e Langmuir (1984).

La formula è:

$$t_E = a \cdot \Delta S + b \cdot \Delta H_S + c \cdot \Delta H_{DM} + d \cdot \Delta H_{DR} \quad (3)$$

dove:

ΔS = distanza [metri];

ΔH_S = dislivello in salita [metri];

ΔH_{DM} = dislivello in discesa moderata [metri];

ΔH_{DR} = dislivello in discesa ripida [metri];

a,b,c,d=coefficienti, vedi Tabella 1.

Per la stima di t_E , viene analizzato il DTM con l'algoritmo di calcolo della regola di Naismith che elabora e stabilisce il percorso migliore (e quindi il tempo) nell'intorno del tratto da percorrere a piedi.

Coefficiente	Valore	Condizione
a	0.9	Cammino
b	0.6	Salita
c	1.9	Discesa moderata
d	-1.9	Discesa ripida

Tabella 1. Valori dei coefficienti della Regola di Naismith

Si assume che in condizioni ambientali medie, un soccorritore con medie caratteristiche fisiche, a prescindere dalla classe, indicata al par. 2, a cui appartiene, impiega circa 9 secondi per percorrere uno spazio senza ostacoli di 10 metri ad una velocità di 1.1 m/s. Per la definizione del tempo peggiorativo (t_P) si adotta, nel calcolo dei tempi di percorrenza a piedi, un "coefficiente di difficoltà, cda" in funzione del tipo di territorio da attraversare. I coefficienti, definiti in base a prove effettuate sul campo, sono riportati in Tabella 2 insieme ai tempi risultanti per una cella di 10 m.

Ambito	cda [-]	t _p [s] per cella 10m
Ambiente urbano	1.0	9.0
Ambiente rurale	0.2	1.8
Zona incolta	0.8	7.2
Corso d'acqua	4.0	36
Bosco	0.5	4.5

Tabella 2. Classificazione dei coefficienti di difficoltà di attraversamento per una cella di 10m

Attraverso la (2) viene calcolato il tempo di cammino t* e lo si considera come parametro di accessibilità alla rete ferroviaria (per il solo tipo_2).

Come già riportato in 2.1.1, nell'analisi di tipo_1, per il calcolo del tempo di percorrenza a piedi sulla linea ferroviaria si considera la velocità del soccorritore costante (5 km/h).

3.3 Tempi minimi

Confrontando il tempo di arrivo da strada con quello da accesso si determina il minimo (t_{MINIMO}) per ogni squadra di soccorso per ogni punto sulla ferrovia.

$$t_{MINIMO} = MIN(t_{(tipo1)}, t_{(tipo2)}) \quad (4)$$

È quindi possibile assegnare ad ogni punto sulla ferrovia:

- le coordinate del punto più vicino su strada (area di sosta dei mezzi di soccorso);
- il minimo tempo stradale di intervento delle squadre più vicine;
- il tempo di intervento dal punto stradale più vicino;
- la stima del parametro accessibilità t* (tipo_2);
- le coordinate dell'accesso più vicino.

3.4 Indice sintetico di accessibilità

Come descritto in precedenza, è molto difficile definire un intervento di emergenza tipo. Risulta utile ricavare un semplice indice che combini le variabili accessibilità e tempi di intervento pesate in funzione delle diverse squadre. Il tutto è utile per rappresentare la valutazione d'insieme del problema "soccorso su ferrovia".

Si propone quindi l'indice RRI (Rail Rescue Index), utile per:

- valutare la celerità degli interventi in ogni punto della rete ferroviaria;
- analizzare lo stato di sicurezza della rete;
- programmare interventi atti al suo miglioramento.

L'indice RRI viene definito come:

$$RRI = A \cdot B \cdot C \cdot D \quad (5)$$

dove:

A = indice generale squadra intervento professionista

B = indice generale squadra intervento volontaria

C = indice generale squadra sanitaria

D = accessibilità (t* - tipo_2)

Il modello mette in relazione i quattro elementi che in un'eventuale situazione di emergenza si considerano fondamentali. Gli indici A, B, C e D sono determinati proprio per questo motivo riclassificando ogni singolo valore di tempo sulla base dell'esperienza e di alcune simulazioni, pesandoli in funzione della valutazione d'insieme da rappresentare. Non ci

sono riferimenti a particolari normative o ad indagini effettuate in precedenza.

Gli indici A, B, C e D sono definiti rispettivamente dalle Tabelle 4, 5, 6 e 7.

RRI	Valutazione d'insieme
0.8733-0.5852	buona
0.5851-0.3136	sufficiente
0.3135-0.0625	non sufficiente

Tabella 3. Valori del Rail Rescue Index

Tempo minimo [min]	A
<10	0.99
10 ≤ T < 20	0.85
20 ≤ T < 30	0.70
≥ 30	0.50

Tabella 4. Indice squadra intervento professionista

Per l'indice A, si dà peso alla celerità della squadra professionista che è ritenuta sempre indispensabile. Si pensi ad esempio ad interventi che necessitino di attrezzature particolari per il trattamento di materiale pericoloso, o nuclei sommozzatori, o l'uso di autoscale. La riclassificazione dei tempi dipende inoltre dalla dislocazione delle sedi professioniste sul territorio generalmente presenti solamente nei grandi centri abitati.

Per l'indice B, si valorizza la dislocazione che le squadre di intervento volontarie hanno sul territorio. Queste conoscono molto bene la zona di competenza ma hanno alti tempi preparatori e bassa specializzazione.

Tempo minimo [min]	B
<5	0.90
5 ≤ T < 10	0.85
10 ≤ T < 15	0.70
≥ 15	0.50

Tabella 5. Indice squadra intervento volontaria

Per l'indice C che riclassifica le tempistiche del personale sanitario si valuta la dislocazione dei centri ospedalieri. Il loro intervento è comunque successivo rispetto a quello delle altre squadre.

Tempo minimo [min]	C
<10	0.99
10 ≤ T < 15	0.90
15 ≤ T < 20	0.80
≥ 20	0.50

Tabella 6. Indice squadra sanitaria

Per l'indice D, si tiene conto che l'accessibilità è parametro fondamentale per tutte le squadre.

Accessibilità t* [min]	D
< 5	0.99
5 ≤ T < 10	0.90
10 ≤ T < 15	0.80
≥ 15	0.50

Tabella 7. Indice di accessibilità

4. APPLICAZIONE ALLA PROVINCIA DI TRENTO

Le procedure per la valutazione dei tempi ed il calcolo dell'indice RRI sono applicati alla rete ferroviaria della Provincia Autonoma di Trento. Dal modello descritto si producono delle mappe dell'indice RRI e dei vari tempi considerati.

Le Figure 7-10 rappresentano delle porzioni della mappa complessiva che descrive l'indice RRI.

Per trasmettere delle informazioni immediatamente interpretabili, i tempi delle squadre di intervento sono classificati tenendo conto delle Linee Guida sul Sistema di Emergenza Sanitaria (DPR 27 Marzo 1992 e successivi atti) che definiscono i punti di soccorso, considerandoli idealmente a t < 8' in aree urbane e a t < 20' in aree sub-urbane e rurali.

Le Figure 11-12 rappresentano delle porzioni della mappa complessiva raffiguranti alcune tempistiche delle squadre di intervento e sanitaria.

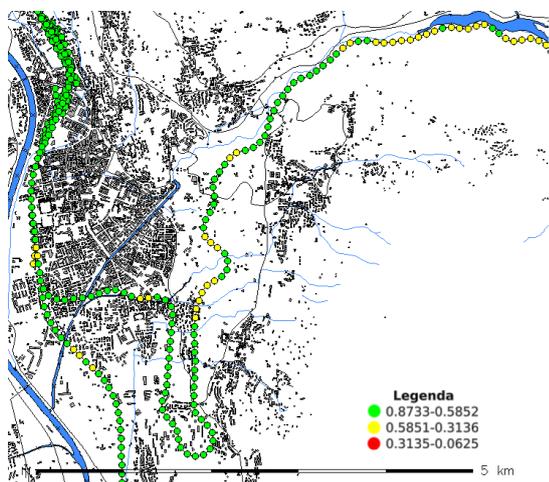


Figura 7. RRI. Porzione di mappa nella zona di Trento e suoi sobborghi.

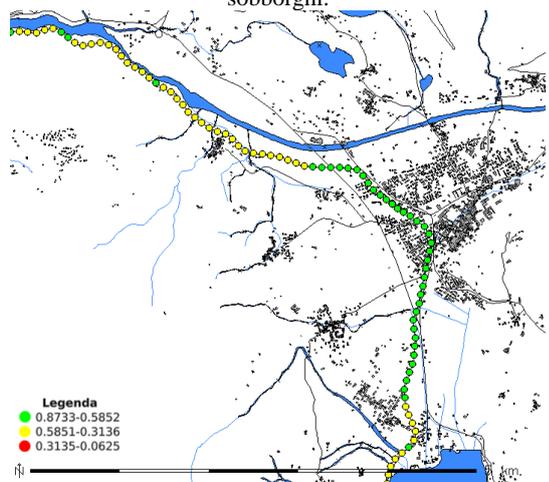


Figura 8. RRI. Porzione di mappa nella zona di Pergine Valsugana e suoi sobborghi.

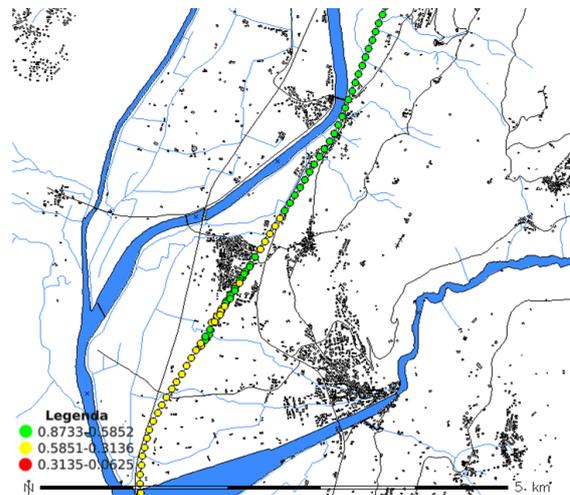


Figura 9. RRI. Porzione di mappa della zona a nord della città di Trento.

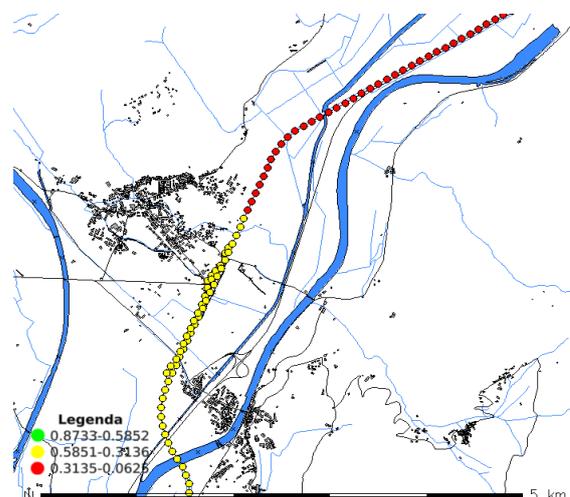


Figura 10. RRI. Porzione di mappa nella zona nord della Provincia di Trento confinante con quella di Bolzano.

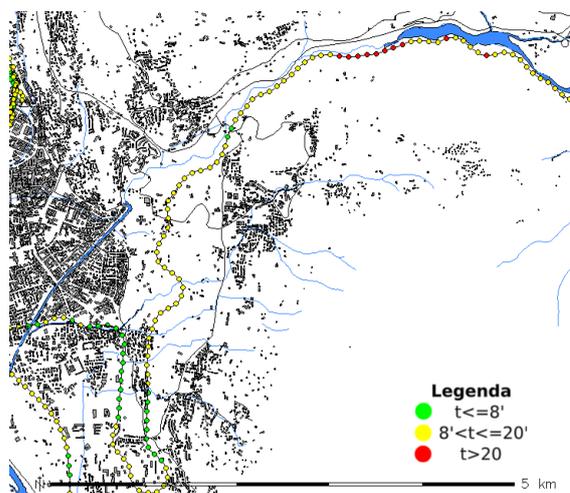


Figura 11. Tempistiche minime di soccorso tra tipo_1 e tipo_2 tra tutte le squadre nella zona di Trento e suoi sobborghi.

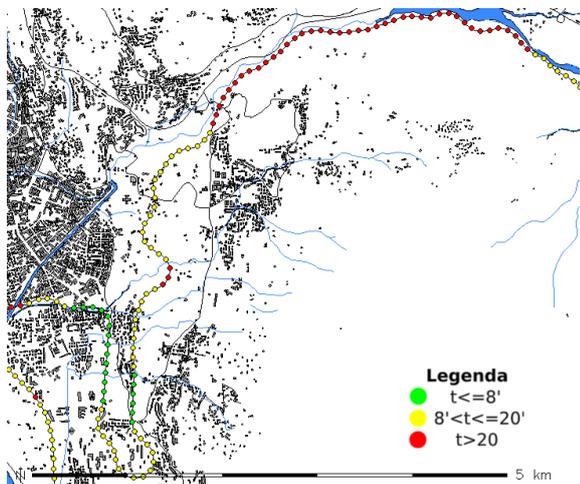


Figura 12. Tempistiche minime di soccorso di tipo_1 della sola squadra sanitaria nella zona di Trento e suoi sobborghi.

5. CONCLUSIONI

La procedura messa a punto è stata implementata in GRASS GIS (GRASS Development Team, 2015) e permette di determinare:

- i tempi di soccorso minimi con l'utilizzo di accessi;
- i tempi di soccorso minimi da rete stradale;
- un'indicazione generale di facilità e celerità degli interventi attraverso il Rail Rescue Index;
- una valutazione dell'accessibilità della rete ferroviaria dalla rete stradale.

Analizzando le Figure 7-10 si nota come l'indice RRI classifichi celerità e facilità di intervento come "sufficiente" in buona parte della rete nella Provincia di Trento. Risultano ancora "non sufficienti" i tratti confinanti con le province limitrofe (vedi Figura 10) che pagano la distanza dai centri più specializzati di Trento e Rovereto.

Analizzando le Figure 11-12 si nota una differenza molto marcata sul tempo finale di arrivo in funzione della tipologia di calcolo utilizzata, quindi della scelta di percorso fatta. La Figura 11 evidenzia una tratta di 800-900 metri dove i tempi sono superiori ai 20'. Se si considera solo l'intervento del personale sanitario, vedi Figura 12, la tratta critica è molto più estesa (circa 4 km).

Nella descrizione dei tempi minimi delle squadre (Figure 11-12), per la squadra di intervento volontaria **non** sono stati presi in considerazione i tempi accessori/preparatori.

Le mappe create costituiscono un elemento di informazione utile per:

- la gestione delle emergenze in quanto è possibile capire immediatamente se la zona dove intervenire è facilmente accessibile o meno, quindi stabilire in breve tempo quali mezzi (e con quali dotazioni speciali) mettere a disposizione;
- l'analisi dello stato di sicurezza della rete;
- la programmazione di interventi volti al suo miglioramento.

Rimangono alcuni problemi ancora aperti quali la presenza di alcune barriere invalicabili (es. barriere fonoassorbenti, scarpate, gallerie, ecc.) che non sono riportate sulle mappe prodotte e la necessità di differenziare i coefficienti di difficoltà di attraversamento dei tipi di copertura in maniera dettagliata. Lo stesso vale per le condizioni climatiche in quanto il modello non distingue le situazioni estive dalle invernali.

6. RIFERIMENTI

Aitken, R., 1977. Wilderness areas in Scotland. Unpublished Ph.D. thesis. University of Aberdeen.

Berger, J., Lo, N., 2015, An innovative multi-agent search-and-rescue path planning approach, Computers and Operations Research, 53, pp. 24-31.

Durrani, S.K., Gertler, J.B., Punwani, S.K. 2012. Emergency response training for locomotive accidents, American Society of Mechanical Engineers, Rail Transportation Division (Publication) RTD, pp. 101-106.

GRASS Development Team, 2015. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.0. Open Source Geospatial Foundation. <http://grass.osgeo.org>

Kratzke, T.M., Stone, L.D., Frost, J.R., 2010. Search and Rescue Optimal Planning System, 13th Conference on Information Fusion, Fusion 2010, art. no. 5712114, .

Kubalík, J., Kléma, J., Kulich, M., 2004. Application of soft computing techniques to rescue operation planning, Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science), 3070, pp. 897-902.

Langmuir, E., 1984. Mountaincraft and leadership. The Scottish Sports Council/MLTB. Cordee, Leicester.

Raimondo F.M., 2013. Calcolo e mappatura dei tempi di intervento per emergenza su linea ferroviaria: il caso della Provincia di Trento. Tesi di Laurea, Università di Trento.

Takagi, R., 2010. Rescue operations on dedicated high speed railway lines, WIT Transactions on the Built Environment, 114, pp. 141-145.

Xiaoqing, C., Quanxin, S., Limin, J., 2006. Decision assistant system of the preplan for railway accident rescue based on case-based reasoning, Proceedings of the Conference on Traffic and Transportation Studies, ICTTS, pp. 827-835.

Yang, J., Sun, H., Li, L., Wu, B., 2013. Multi-objectives location planning model and solution algorithm for disasters rescue site of highway network, Tongji Daxue Xuebao/Journal of Tongji University, 41 (12), pp. 1843-1848+1871.