

Trasporti eccezionali valutazione automatizzata della transitabilità

Settimo Martinello
4 EMME Service Spa

Sommario

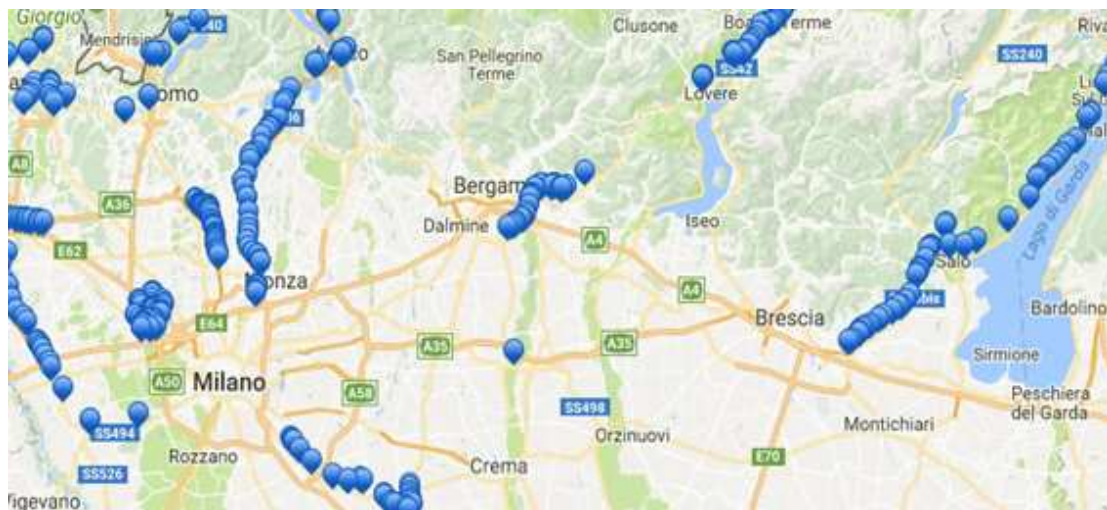
I Trasporti Eccezionali sono una fonte di preoccupazione per le amministrazioni che hanno la responsabilità della rete viaria, in particolare per quanto riguarda le strutture che sono state progettate con carichi e normative diverse dalle attuali o che da tempo non vengono più ispezionate.

Le verifiche eseguite dagli uffici competenti, sulla base delle richieste delle società di trasporto, sono di tipo prevalentemente amministrativo, e per l'aspetto della capacità portante ci si affida a valutazioni sommarie in considerazione della difficoltà della verifica e del numero di opere comprese sulla linea di transito.

Il sistema di valutazione informatizzata dei trasporti eccezionali che si presenta in questo articolo, confronta, attraverso un processo di calcolo automatico, le sollecitazioni massime prodotte dal transito del carico eccezionale con quelle ammesse, desumibili dal collaudo o dall'applicazione dei carichi indotti dai veicolo previsti dal Codice della Strada o dai limiti imposti con cartellonistica all'ingresso del ponte.

Il confronto avviene attraverso l'applicazione del Teorema di Appiano, che permette un approccio semplificato tra carichi eccezionali e carichi ammessi.

La metodologia è disponibile su piattaforma web e prevede l'utilizzo della cartografia Google che permette la semplificazione della ricerca dell'itinerario migliore con l'evidenziazione dei ponti attraversati.



Una volta introdotte le caratteristiche del mezzo eccezionale (numero di assi, peso degli assi, distanza degli assi) i ponti assumeranno una colorazione verde, giallo o rossa ad indicare il livello di sollecitazione raggiunto rispetto a quello ammesso.

Ne deriva una sorta di “Catasto strade” con il vantaggio della verifica statica del carico eccezionale transitante.

Inoltre, essendo la piattaforma “aperta”, l’analisi è condotta su tutte le opere, anche quelle di altre amministrazioni, permettendo una verifica in termini nazionali e non limitata alle competenze della singola amministrazione locale. Si potrà così avere un’idea della transitabilità sull’intero itinerario prima ancora di aver chiesto il “nulla osta” alle altre amministrazioni ricadenti nel percorso.

Eventuali ostacoli, semafori rossi, potranno essere superati ricercando un’altro itinerario o simulando un carico con una distribuzione diversa dei pesi.

Il sistema è implementato dalla verifica della transitabilità del mezzo anche dal punto di vista geometrico (altezza, larghezza, lunghezza, raggio di curvatura), dal momento che sono evidenziabili tutti gli ostacoli che si possono incontrare nell’itinerario (gallerie, sottopassi, ecc.).

Va infine sottolineato che il transito del carico eccezionale può essere registrato nel sistema informatico: in tal modo la continua acquisizione dei passaggi e dell’entità dei carichi sui singoli ponti permetterebbe di formare una statistica molto utile nella valutazione della vita utile dell’opera.

1 Introduzione

Il settore dei trasporti eccezionali è disciplinato dall'art. 10 del Codice della Strada, dove è previsto che il provvedimento di autorizzazione al transito possa imporre dei percorsi prestabiliti. L'autorizzazione può essere data solo quando il transito è compatibile con la conservazione delle sovrastrutture stradali, con la stabilità dei manufatti e con la sicurezza della circolazione^[1].

Vi sono inoltre numerose norme regolamentari (che fanno riferimento all'art. 61 del Codice stesso) sulla sagoma limite, ma soprattutto l'art. 62^[2], riferito ai carichi ammessi.

Le autorizzazioni rilasciate da tutte le amministrazioni italiane alle imprese che ne facciano richiesta si basano principalmente su una valutazione che segue l'art. 61, riguardante la sagoma limite, piuttosto che l'art. 62, riguardante i carichi. La maggior parte delle volte il nulla osta viene rilasciato omettendo quelle verifiche di sicurezza sulle opere stradali, come i ponti, che invece sarebbero necessarie per garantire una sicurezza sia in termini di circolazione sia di conservazione del patrimonio. Il motivo principale è la difficoltà della valutazione del notevole numero di opere comprese lungo la linea di transito.



La novità presentata in questo articolo sta nell'affrontare questa lacuna di carattere pratico impiegando strumenti informatizzati, come le mappe Google, che, opportunamente implementate, consentono una valutazione complessiva del tragitto anche in considerazione della presenza di strutture di amministrazioni diverse.



Non da ultimo va considerata la possibilità di permettere l'analisi diretta, oltre che ai trasportatori, anche ai Vigili del Fuoco e alla Protezione Civile, che in condizioni critiche, in orari notturni o nei giorni festivi avrebbero la possibilità di valutare un transito speciale anche nell'impossibilità di consultare direttamente l'organo competente.

Questa possibilità è fornita dall'uso di una piattaforma web che amministra i ponti gestiti da tutte le amministrazioni, le quali hanno la facoltà esclusiva di porre dei limiti di carico o di transitabilità sulle opere di competenza.

2 Transitabilità dei carichi eccezionali

Un carico eccezionale è transitabile su un ponte quando produce delle sollecitazioni, di momento e di taglio, sempre inferiori alle sollecitazioni ammesse.

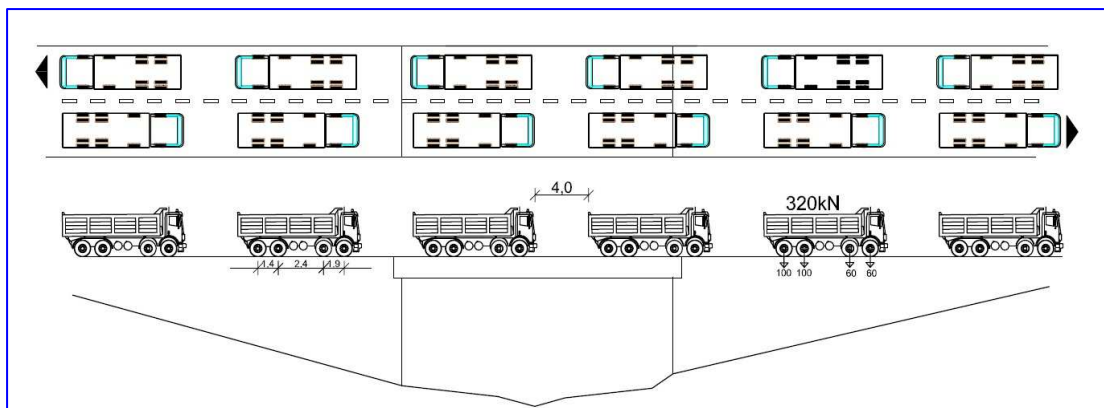
Le sollecitazioni ammesse derivano da una valutazione delle singole amministrazioni in base all'età ed alla condizione reale dell'opera.

Le sollecitazioni ammesse derivano dai carichi ammessi dalle norme (Circolare 1962; DM 1990; TU 2008) o da quelli derivanti da un collaudo oppure quelli posti da una limitazione di portata.

In ogni caso, se non si è in presenza di un cartello di limitazione di portata, va inteso che l'amministrazione proprietaria del ponte garantisce, perlomeno, il transito dei mezzi previsti dal Codice della Strada.

La condizione peggiore prevista dal Codice della Strada, quella che produce il massimo Momento e il massimo Taglio, è quella identificata nell'art. 62 comma 3, che prevede un veicolo a 4 assi con massa limite pari a 32 t.

L'esempio riporta il treno di carico nel transito di un ponte a due corsie.



Treno di carico previsto dal Codice della Strada

Si definisce come *Momento o Taglio di confronto*, ammesso, il Momento o Taglio generato dal transito del treno di carico:

- previsto dalla normativa utilizzata nella progettazione di un ponte, o
- dal massimo carico previsto dal Codice della Strada, o
- previsto da un limite imposto attraverso una cartellonistica di limitazione posta all'ingresso del ponte.

N°	Descrizione	N° F	F [kN]	m [m]	i [m]	Q [kN/m]	Q ₁ [kN/m]	Q ₂ [kN/m]	Q ₃ [kN/m]	Larghezza Corsia [m]	F.Corsa > 1 [kN]	Q.Corsa > 1 [kN/m]	Coef. F (F)	Coef. Q (Q)
1	distribuita	0	0	0	0	5					0	0	0	1,1
2	categoria 1-Circ. 1962 - Schema 4	0	0	0	12,8					3,5	0	0	6,5	1,1
3	categoria 1-Circ. 1962 - Schema 5	0	0	0	24					3,5	0	0	6,5	1,1
4	categoria 1-Circ. 1962 - Schema 6	0	0	0	15,5					3,5	0	0	6,5	1,1
5	categoria 2-Circ. 1962 - Schema 1	0	0	0	6,5					3,1	0	0	6,5	1,1
6	categoria 2-Circ. 1962 - Schema 2	0	0	0	9,7					3,1	0	0	6,5	1,1
7	categoria 3-Circ. 1962 - Schema 3	0	0	0	4					0	0	0	0	1,1
8	categoria 1-DM90	3	200	15	1,5	8,57				3,5	150	4,28	1,1	
9	categoria 2-DM90	3	150	15	1,5	4,28				3,5	100	4,28	1,1	
10	categoria 1-TU 2008	2	300	0	1,2	9				3	200	2,5	1,1	
11	categoria 2-TU 2008	2	240	0	1,2	7,2				3	200	2,5	1,1	

Tipologia di carico previsto dalle norme

Costruito un modello di ponte di riferimento attraverso la condizione isostatica, indipendentemente dalla reale tipologia costruttiva, si calcola il rapporto tra il *Momento massimo prodotto* $M_{max,p}$ ed il *Taglio massimo prodotto* $T_{max,p}$ dal carico eccezionale col *Momento massimo di confronto* $M_{max,c}$ ed il *Taglio massimo* $T_{max,c}$.

La valutazione va eseguita studiando l'avanzamento del treno di carico da un estremo all'altro e calcolando l'involuppo dei massimi Momenti e dei massimi Tagli sia per il treno di carico prodotto che per quello di confronto.

Si procede quindi a calcolare la curva che rappresenta il rapporto tra i due involuipi, quello prodotto e quello di confronto, sia per il Momento sia per il Taglio.

Il valore maggiore di tutti questi rapporti è definito:

$R_t =$ Rapporto di Transitabilità

R_t è il parametro che genera l'ammissibilità o meno del transito del carico eccezionale. In altre parole, se $R_t < 1$ il carico eccezionale è transitabile in quanto produce in ogni punto della luce, durante il transito, delle sollecitazioni di Momento e di Taglio sempre inferiori a quelle ammesse.

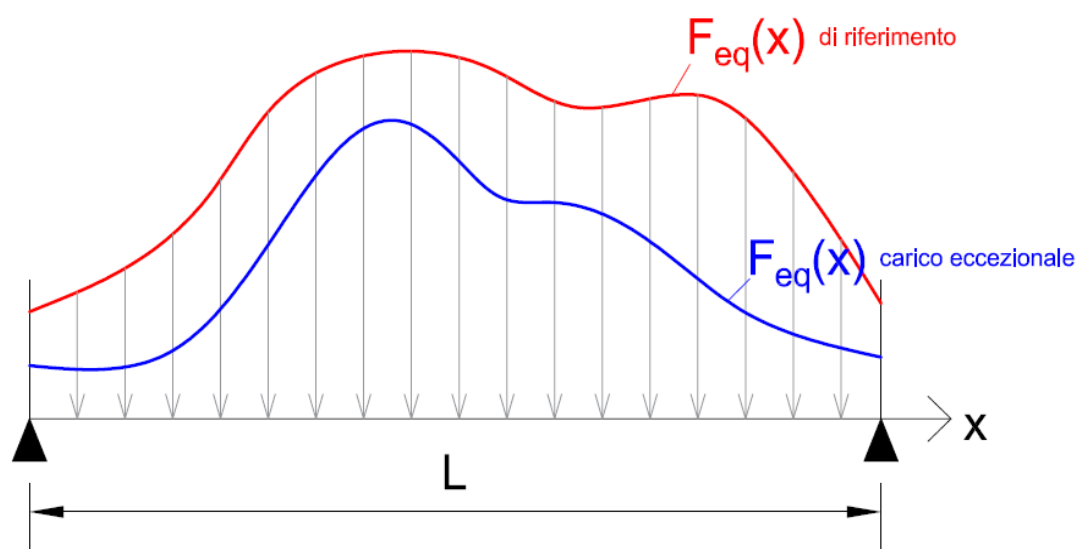
Tenuto conto che non si conoscono i reali gradi di vincolo, l'individuazione di R_t deve essere effettuata nell'ipotesi peggiore, in quanto è necessario ottenere un valore sempre cautelativo.

L'analisi di tutte le combinazioni possibili si presenta estremamente complessa soprattutto in presenza di molte forze concentrate e/o distribuite.

Tutto il procedimento può essere semplificato immaginando di trasformare una combinazione di carico complessa in una sola forza equivalente.

In altre parole, è **sempre possibile sostituire un treno di carico complesso, formato da più forze concentrate e/o distribuite, con un'unica Forza equivalente $F_{eq}(x)$ di intensità variabile lungo la luce.**

Se, come rappresentato indicativamente dalla figura, l'andamento della Forza equivalente prodotta dal carico eccezionale è sempre inferiore a quella ammessa di riferimento, allora anche tutte le possibili sollecitazioni prodotte, taglio, momento, forze su pendini o su tiranti, è inferiore.



Si può dimostrare che il procedimento di individuazione della Forza equivalente transitabile, calcolata nel caso del semplice appoggio, è cautelativa anche nel caso il ponte attraversato avesse una condizione di vincolo diversa fino al limite dell'incastro perfetto.

Procediamo calcolando la massima Forza equivalente transitabile, quella che produce $R_t=1$, calcolata nel caso di semplice appoggio, per poi verificare se è transitabile anche nel caso di incastro perfetto.

Il caso estremo vede come treno di carico ammesso il carico distribuito (che rappresenta il limite di un treno di carico con molte forze; caso del transito del treno di carico del Codice della Strada o i carichi previsti nelle normative) e come carico transitante, eccezionale, una singola forza concentrata (rappresenta il limite di un treno di carico con poche forze concentrate).

Evidenziamo le formule che individuano le massime sollecitazioni nella condizione di incastro perfetto per carico distribuito e forza concentrata.

	incastro - incastro		
	$T_{(x=0)}$	$M_a_{(x=0)}$	$M_c_{(x=L/2)}$
Carico distribuito q	$qL/2$	$-qL^2/12$	$qL^2/24$
Forza concentrata F	F	$-4FL/27$	$FL/8$

Nota: il massimo momento negativo si produce quando F è a $1/3 L$, producendo un Momento di $M_{a \max} = -\frac{4}{27} FL$

- Treno di carico ammesso costituito da un carico distribuito q .
- Treno di carico transitante costituito da una singola forza concentrata F .

La Forza equivalente del carico ammesso, calcolata nel caso di semplice appoggio, è una curva che per $x=0$ è pari a $F_{eq(x=0)}=qL/2$ ed in mezzzeria si riduce a $F_{eq(x=L/2)}= qL/4$.

Ne deriva che il carico transitante massimo, $R_t=1$, è costituito da un forza pari a $F=qL/4$.

Analizziamo le massime sollecitazioni quando la Forza $qL/4$ transita su un ponte della stessa luce ma con incastro perfetto.

	Incastro - incastro		
	$T_{(x=0)}$	$M_a_{(x=0)}$	$M_c_{(x=L/2)}$
Sollecitazioni ammesse	$qL/2$	$-qL^2/12$	$qL^2/24$
Sollecitazioni provocate	$qL/4$	$-qL^2/27$	$qL^2/32$

Come si evince dal confronto, in tutte le sezioni di calcolo la forza transitante produce sollecitazioni inferiori a quelle ammesse.

In conclusione, la verifica di transitabilità si può eseguire per il solo caso di semplice appoggio, attraverso l'involuppo della Forza equivalente, valutando il massimo R_t , sapendo che la risposta sarà in ogni caso cautelativa anche se le condizioni di vincolo fossero diverse.

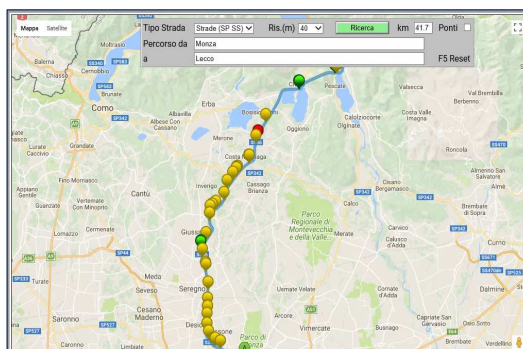
3 Analisi del percorso

L'Andamento del *Momento o Taglio eccezionale o di confronto* è ottenuto facendo transitare su ogni ponte la *Forza di Appiano* e calcolando il Momento o Taglio per ogni posizione di transito con intervalli di 1/100 della luce.

In base al rapporto tra valori di Momento e Taglio prodotti e di confronto si potrà ottenere che:

- il Momento e il Taglio hanno sempre valori inferiori al 50% di quello di confronto. In questo caso **il carico eccezionale è transitabile liberamente**: semaforo verde 🟢 ;
- il Momento o il Taglio hanno superato il 50% del valore di confronto e pertanto deve essere previsto un **transito con limitazione del traffico** e con la condizione di passare al centro della carreggiata: semaforo giallo 🟡 ;
- il Momento o il Taglio hanno superato il 100% del valore di confronto e pertanto la verifica è considerata negativa. **Il carico eccezionale non può transitare** su quel ponte: semaforo rosso 🔴 .

La versione CEG 1.0 (Carichi Eccezionali in versione Google) del metodo di calcolo della transitabilità dei carichi eccezionali già operante nel sistema informatico Bridge (gestione dei Censimenti e delle Ispezioni)^{[4][5]} opera utilizzando la cartina stradale prodotta dal sistema Google, identificando lungo l'itinerario i ponti attraversati.

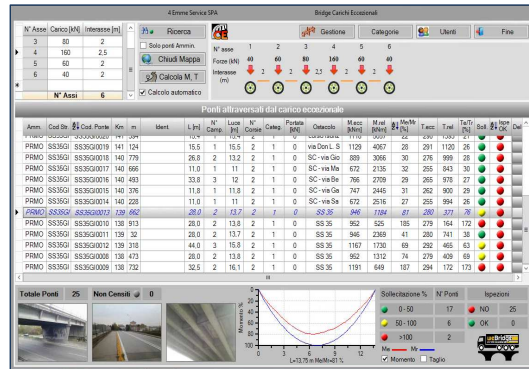


Le caratteristiche dimensionali e di carico dell'autotreno sono introdotte in un'apposita scheda dove è possibile costruire un qualunque tipo di mezzo, indicando: numero degli assi, distanza tra gli assi, carico su singolo asse.



Il sistema consente la ricerca di un itinerario alternativo o di una rimodulazione delle caratteristiche dell'automezzo per la ricerca di una soluzione senza semafori rossi.

L'analisi della transitabilità, riferita allo specifico carico eccezionale, viene riassunta in una scheda che riporta le caratteristiche principali del ponte attraversato, la sua collocazione e il risultato del calcolo di confronto tra sollecitazione prodotta dal carico eccezionale e sollecitazione ammessa indicando il rapporto percentuale tra loro sia sotto il profilo del Momento sia per il Taglio.



Due colonne specifiche riportano il colore del semaforo (verde, giallo, rosso) ad indicare il risultato del calcolo e di eventuali ispezioni. Una tabella sintetica riporta il numero dei ponti attraversati e la quantità e la colorazione dei semafori.

Per ogni ponte attraversato è possibile evidenziare lo specifico grafico del Momento e del Taglio, dove sono evidenziate le curve di involuppo del massimo momento o taglio prodotto dal carico eccezionale in riferimento a quello ammesso. Sulle ascisse è riportata la luce del ponte, mentre sulle ordinate la suddivisione percentuale, dove il carico ammesso raggiunge il valore 100%.



Le curve rappresentano l'involuppo dei valori massimi calcolati durante l'attraversamento del treno di carico di transito eccezionale "M_e" e "T_e" (in blu) e di confronto ammissibile "M_a" e "T_a", (in rosso) calcolati ogni centesimo della luce.

Il sistema viene preimpostato con i massimi "carichi ammessi" dal Codice della Strada art. 62.3, dove il carico è posto rispettivamente a 6 t, 6 t, 10 t, 10 t per asse, per un totale di 32 t. Tale treno di carico di confronto, ammesso, può essere cambiato in ogni momento dal Gestore del sistema, ponendo come ammissibile l'eventuale limitazione di portata indicata con la segnaletica o il treno di carico di collaudo.

Ogni cambiamento dei dati di carico ammessi viene memorizzato con la data e l'ora dell'ultima impostazione, e il Gestore riceve una mail automatica di sicurezza.

Il sistema viene fornito con tutti i semafori delle Ispezioni predisposti in verde, questa condizione permane per tre mesi per poi trasformarsi automaticamente in rosso a ricordare che devono essere eseguite le ispezioni o confermate quelle effettuate con la loro scadenza.

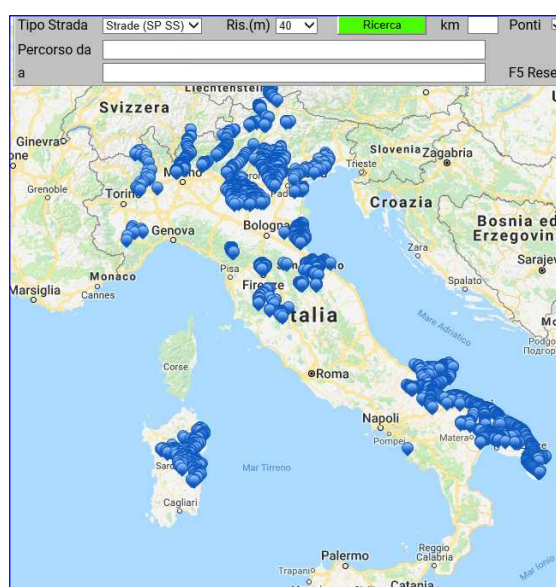
Questa indicazione può essere cambiata in ogni momento a fronte di eventi che consiglino una limitazione del transito anche solo temporanea.

È consigliato di indicare, nelle autorizzazioni di transitabilità, che è dovere dell'utilizzatore la verifica, X ore prima del transito effettivo, che tutti i semafori dei ponti attraversati siano verdi o gialli. In questo senso gli utilizzatori potranno collegarsi al sistema informatico venendo così a conoscenza di eventuali limitazioni predisposte anche poche ore prima a causa di eventi eccezionali.

Il sistema prevede due livelli di sicurezza tramite password. Una, utilizzata esclusivamente dal Gestore, che consente il cambiamento dei dati di riferimento, e un'altra per gli utilizzatori, che potranno solo visualizzare i risultati della verifica.

Il software gestionale è "aperto", in quanto i ponti introdotti nel sistema da parte di qualunque amministrazione sono disponibili per tutti. Questo permette di verificare un itinerario sull'intero territorio nazionale.

Rimangono invece esclusivi, dell'amministrazione proprietaria dei ponti, l'introduzione o il cambiamento dei dati di riferimento per la transitabilità, o l'introduzione di semafori rossi per segnalare in tempo reale gli eventuali ostacoli che impediscono il transito su uno specifico ponte dove si sia evidenziato un difetto potenzialmente pericoloso per la capacità portante.



4 Valutazione della transitabilità geometrica

Oltre alla verifica della capacità portante delle opere d'arte il sistema verifica la transitabilità riferendosi agli ostacoli dimensionali che il trasporto eccezionale può incontrare lungo il percorso.

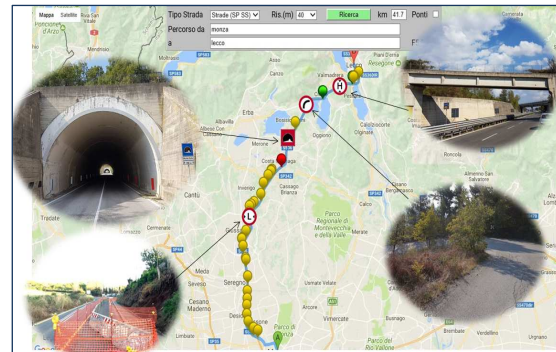
Ostacoli rappresentati dalle dimensioni delle gallerie, dalle altezze dei sottopassi o di linee aeree, dai restringimenti e dai raggi di curvatura delle rotonde o dei tornanti.

Tutti gli ostacoli sono inseriti nella mappa e facilmente individuabili attraverso un simbolo che li rappresenta.

Il transito virtuale del mezzo eccezionale individua l'eventuale ostacolo non superabile e lo colora di rosso.

Veicoli										
Scegliere la configurazione del Carico Ecc.										
Cod.	Descrizione	Altezza (m)	Longhezza (m)	Longhezza (m)	R. di curvatura (m)	Longhezza (m)	Longhezza (m)	Asse	Carico (kN)	Intersasse (m)
1	A. 33 ton - 4 assi	3,6	2,8	8,5	8	8,5		1	100	0
2	B. 40 ton - 4 assi	3,6	2,8	8,5	8	8,5		2	140	3,5
3	C. 55 ton - 6 assi	3,2	2,9	11,4	12	11,4		3	120	8,2
4	D. 72 ton - 6 assi	3,5	2,9	15,6	14	15,6		4	110	1,6
5	E. 100 ton - 8 assi	3,2	2,9	16,2	16,5	16,2		5	110	1,6
6	S. 100 ton - 12 assi	3,2	2,9	19,2	18,4	19,2		6	120	1,6

N° asse	1	2	3	4	5	6
Forze (kN)	100	140	120	110	110	120
Intersasse (m)	3,5	3,2	1,6	1,6	1,6	



L'ostacolo può essere anche di tipo virtuale e posizionato in un particolare punto stradale per impedire il transito sulla strada specifica da mezzi pesanti o di grandi dimensioni.



Conclusioni

Si è dimostrata la possibilità di valutare sistematicamente e automaticamente la capacità di transito di un carico eccezionale su un qualunque itinerario. Il metodo rappresenta uno strumento utile, se non indispensabile, per quel personale delle amministrazioni che deve assumersi delle responsabilità attraverso il rilascio di una certificazione di transitabilità non valutata ingegneristicamente.

Inoltre, la possibilità di integrare le informazioni di tutte le amministrazioni con la condivisione dei dati permette una verifica reale del possibile itinerario senza dover interrogare inutilmente le amministrazioni la cui risposta sarebbe certamente negativa.

La possibilità di introdurre in tempo reale una limitazione di portata o addirittura un divieto di transito alza il livello di sicurezza, permettendo di evitare i drammatici eventi di recente memoria.

Il metodo presentato rappresenta una novità assoluta anche in termini internazionali: non ne esiste un esempio in altri paesi, anche dove, come negli Stati Uniti, l'autorità è unica.

In Italia la frammentazione delle competenze ha provocato una grande disparità di attenzione alla manutenzione dei ponti, con investimenti spesso ridotti a zero, quando ci si dimentica che queste opere necessitano di un controllo sistematico e di investimenti costanti perché ne siano garantite la sicurezza e la durabilità.

Ecco che si presenta l'occasione per l'Italia di essere un riferimento anche per gli altri paesi, con un sistema, come quello rappresentato da questo brevetto internazionale, che integra e condivide le informazioni di tutte le amministrazioni che gestiscono ponti.

5 Bibliografia

- [1] *Nuovo codice della strada: Titolo I: Disposizioni generali: Art. 10, Veicoli eccezionali e trasporti in condizioni di eccezionalità*, Decreto legislativo 30 aprile 1992 n. 285 e successive modificazioni
- [2] *Nuovo codice della strada: Titolo III: Dei veicoli: Art. 61, Sagoma limite e Art. 62, Massa limite*, Decreto legislativo 30 aprile 1992 n. 285 e successive modificazioni
- [3] Bruson, R., Martinello, S. (2010), *Valutazione del transito dei carichi eccezionali attraverso una procedura di calcolo automatico*, Seminario Internazionale CIAS, Creta
- [4] Martinello, S. (2004), *Ponti. Sorveglianza, manutenzione e interventi. Il software Bridge*, Dispense CIAS, Alessandria
- [5] AA.VV. (2008), *Manuale per la Valutazione dello stato dei Ponti (III ed.)*, CIAS