



VALUTAZIONE DEL TRANSITO DEI CARICHI ECCEZIONALI ATTRAVERSO UNA PROCEDURA DI CALCOLO AUTOMATICO

Roberto Bruson
Settimo Martinello

4 EMME Service S.p.A.

Sommario. *Per le amministrazioni che hanno i ponti sotto la propria responsabilità i trasporti eccezionali sono una fonte di preoccupazione nel riguardo della sicurezza della circolazione, in particolare per quelle strutture che sono state progettate, nel corso degli anni, con carichi e normative diverse.*

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

La valutazione informatizzata dei trasporti eccezionali, che si presenta in questa memoria, analizza, attraverso un processo di calcolo automatico, le sollecitazioni massime per confrontarle, cautelativamente, con quelle previste a norma. Il confronto è particolarmente semplificato dall'attuazione del Teorema di Appiano che permette un approccio semplificato tra carichi eccezionali e carichi di normativa.

Nell'analisi sono evidenziati anche gli ostacoli presenti lungo le linee stradali, come restringimenti di carreggiata, altezze limite, raggi di curvatura, con una risposta sintetica che tiene conto delle condizioni reali della struttura attraverso una attenta valutazione delle ispezioni visive.

L'informatizzazione dell'analisi dei carichi eccezionali completa l'aspetto gestionale del software Bridge permettendo di conservare in forma ordinata tutta quella serie di documentazione di richiesta, di rilascio e di valutazione che è parte integrante della storia delle singole opere.

EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO DE CARGAS EXCEPCIONALES MEDIANTE UN PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO AUTOMÁTICO

Roberto Bruson*
Settimo Martinello

* 4 Emme Service S.p.A.
Investigación y Desarrollo de Área Nacional

Sumario. *Para las administraciones que tienen los puentes bajo su responsabilidad, los transportes excepcionales son motivo de preocupación, tanto por las consecuencias que afectan a la seguridad de la circulación vial, como por la conservación de la red de carreteras, sobre todo por lo que concierne a esas estructuras que, en el transcurso de los años, se han ido diseñando con cargas y normativas diferentes.*

Los controles que se realizan en las oficinas competentes, sobre la base de las solicitudes de las sociedades de transportes, son principalmente de carácter administrativo; por el contrario, desde el punto de vista de la capacidad portante, ocurre a menudo que se tienen en cuenta únicamente evaluaciones sumarias, debido a la dificultad de evaluación del gran número de obras incluidas en la línea de tránsito.

La propuesta de evaluación informatizada de los transportes excepcionales que se presenta en este informe, además de considerar toda la serie de obstáculos presentes a lo largo de las líneas viales, tales como: estrechamientos de calzada, alturas límite, radios de curvatura, etc., utiliza un proceso de cálculo automático para analizar los esfuerzos máximos y compararlos, aplicando un criterio de cautela, con los previstos en las normas.

En el análisis, también se tiene en cuenta el aspecto correspondiente al mantenimiento, evaluando las respuestas de las visitas de inspección y de los ensayos, con las posibles limitaciones impuestas. La informatización del análisis de las cargas excepcionales completa el aspecto gestional del software Bridge, permitiendo conservar de forma ordenada toda esa documentación de solicitud, emisión y evaluación que forma parte de la historia de cada una de las obras.

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 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 all'art. 62 ^[2] riguardante la massa di confronto, dove si specifica: "[...] qualunque sia il tipo di veicolo, la massa gravante sull'asse più caricato non deve eccedere 12 t. In corrispondenza di due assi contigui la somma delle masse non deve superare 12 t se la distanza assiale è inferiore a 1 m; nel caso in cui la distanza assiale sia pari, o superiore a 1 m ed inferiore a 1,3 m, il di confronto non può superare 16 t; nel caso in cui la distanza sia pari o superiore a 1,3 m ed inferiore a 2 m tale limite non può eccedere 20 t. [...]" ^[3]

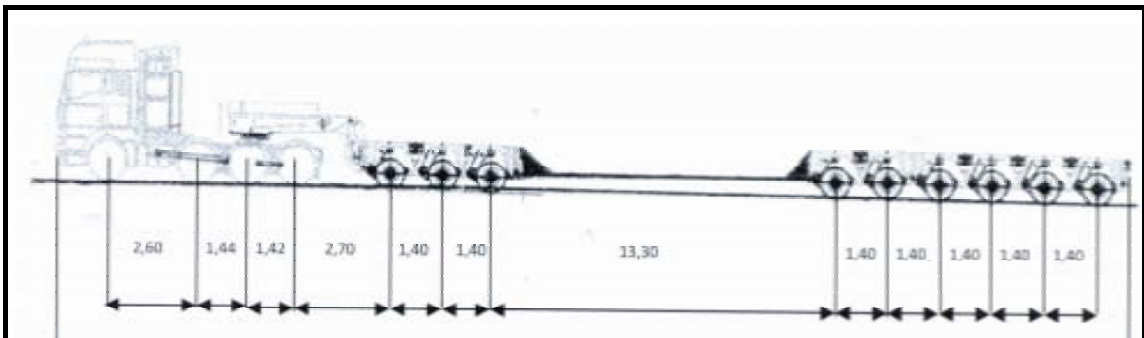


Figura 1: esempio di distribuzione dei carichi di un automezzo

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

La novità presentata in questa memoria sta proprio nell'affrontare e cercare di risolvere questa lacuna di carattere pratico, oltre ovviamente a considerare le limitazioni geometriche imposte dal percorso e ad informatizzare tutti i documenti necessari alle pratiche burocratiche, che rappresenteranno comunque la storia di ogni singola opera.

La formazione di questo archivio storico, oltre a velocizzare l'analisi nel caso di richieste analoghe effettuate in tempi diversi, permette di attuare una collaborazione effettiva tra reparti diversi delle singole amministrazioni, ognuna delle quali inserisce nel sistema limitazioni statiche o geometriche (anche temporanee).

Non da ultimo va considerata la possibilità di consentire l'analisi diretta anche agli enti, Vigili del Fuoco o Protezione Civile, che in condizione critiche o in orari inopportuni avrebbero la necessità di valutare un transito speciale. Questa possibilità è fornita dall'uso del web server esterno alla amministrazione che, con tutte le garanzie di sicurezza, consente l'accesso e l'analisi alle persone autorizzate.

2 TEORIA DEI CARICHI ECCEZIONALI

Si vuole costruire un modello di ponte di riferimento e un modello di carico eccezionale che consenta una verifica automatica della possibilità di passaggio del carico su una linea di ponti. La metodologia determina una condizione sempre cautelativa capace di garantire un calcolo di verifica della transitabilità per una grande quantità di opere. Nell'analisi che segue, si terrà conto che i ponti sono:

- di luce diversa;
- di grado di vincolo diverso;
- di qualunque tipo strutturale (isostatico, iperstatico, strallato, sospeso, ad arco)
- di più campate;
- di diversa categoria;
- di più corsie.

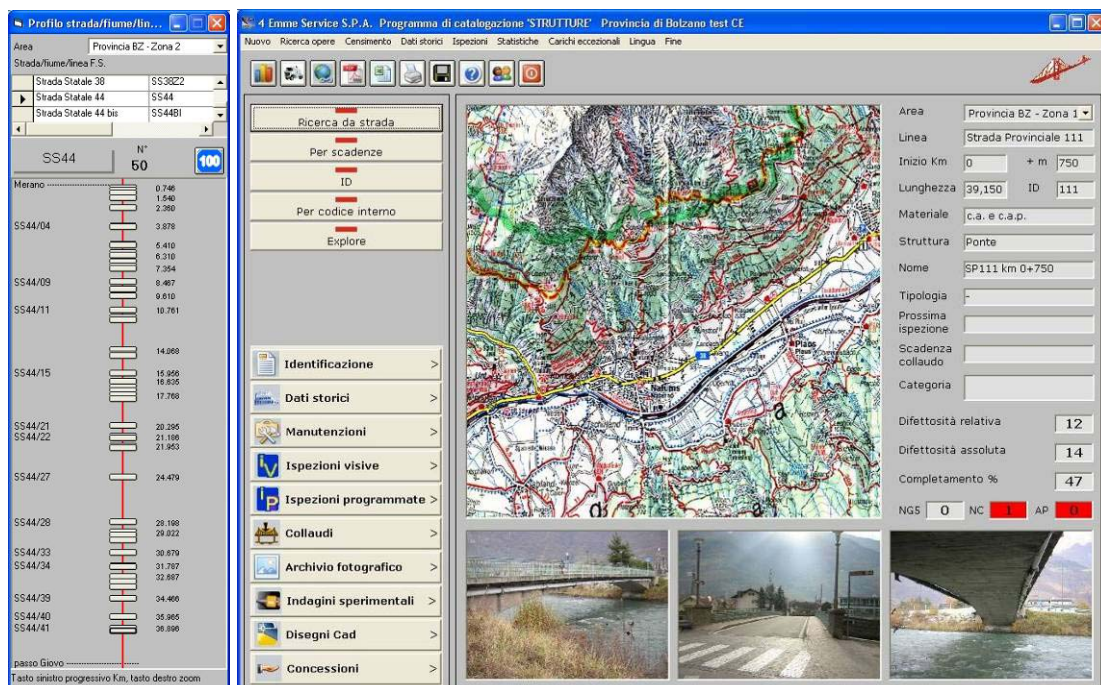


Figura 2: visualizzazione di una strada statale e dei suoi ponti

Anche i carichi eccezionali possono essere complessi con:

- quantità diverse di assi;
- distanze diverse degli assi;
- carichi diversi per asse.

I dati caratteristici dei ponti di una rete stradale, anche in quei casi dove si sia realizzato un censimento e un'ispezione preliminare, sono normalmente insufficienti per poter comparare le sollecitazioni agenti S_d con la capacità resistente R_d (sforzi resistenti N_u , M_u , V_u , T_u , S_u , etc.) di una struttura. Generalmente, inoltre, non si dispone di dati precisi relativi alla quantità o alla distribuzione dell'armatura ne tanto meno della resistenza dei materiali.

La verifica della condizione $Sd \leq Rd$ può essere effettuata solamente dopo un'ispezione particolareggiata. Qualora non si sia realizzata un'ispezione adeguata e un calcolo attento dei parametri resistenti, la verifica si dovrà basare sulla tesi che

una struttura sprovvista di segnalazione del limite di portata è di fatto una struttura che implicitamente ammette il transito dei carichi della normativa vigente in base alla categoria del ponte.

Il modello che andremo a costruire dovrà tener conto di questi aspetti, garantendo, in ogni caso, che il confronto automatico sia sempre cautelativo rispetto alle condizioni di norma previste.

La teoria di calcolo automatico dei carichi eccezionali si basa su due assunti fondamentali:

- a) **tutte le strutture sono trattate come se fossero isostatiche;**
si dimostrerà che in ogni caso questa condizione fornisce una verifica sempre cautelativa rispetto a condizioni reali di iperstaticità;

- b) **il carico eccezionale è ritenuto transitabile se produce, per ogni singola sezione, un Momento e un Taglio inferiore a quello derivante dalle norme applicate per il transito dei veicoli in base alla categoria del ponte.**

2.1 Modello di ponte di riferimento

Si definisce come *Momento o Taglio di confronto* il Momento o Taglio generato dal transito del treno di carico previsto dalla normativa utilizzata nella progettazione di un ponte.

Costruito un modello di ponte di riferimento attraverso la condizione isostatica, indipendentemente dalla reale tipologia costruttiva, il confronto avviene tra *l'andamento del Momento massimo di confronto $M_{m,c}$* ed il *Taglio massimo di confronto $T_{m,c}$* con *l'andamento del Momento massimo prodotto $M_{m,p}$* ed il *Taglio massimo prodotto $T_{m,p}$* dal carico eccezionale sul modello di ponte di riferimento.

L'andamento del *Momento massimo* è rappresentato dalla curva d'involuppo di tutti i *Momenti massimi* creati dal transito dei carichi *di confronto* o *prodotti*. Si parlerà così di *Momento Massimo di confronto* riferendoci a quello ottenuto dal transito dei carichi previsti dalle norme e *Momento massimo prodotto* riferendoci a quello ottenuto dal transito del carico eccezionale.

L'andamento del Momento massimo, di confronto e prodotto, è calcolato con un avanzamento del treno di carico a passi di 1/100 della luce a partire dall'appoggio di sinistra e fino alla fuoriuscita completa del treno di carico dall'appoggio di destra.

Il modello di ponte preso come riferimento, indipendentemente dalle condizioni reali, tiene conto delle seguenti caratteristiche:

- a) è considerato sempre isostatico;
- b) la luce di riferimento, L_r , è la luce reale per i casi realmente isostatici,;

- la luce tra interno-spalla interno-spalla o interno-spalla interno-pila per i ponti ad arco; la luce maggiore delle singole campate dei viadotti (con uguale sezione resistente);
- le corsie considerate nel calcolo sono 1 o 2, dove 2 è assunto automaticamente nel caso di numero corsie superiore a 2;
 - non considera l'effetto del coefficiente dinamico;
 - non considera l'effetto degli eventuali marciapiedi.

Con la condizione a) e b) si produce una situazione cautelativa poiché eventuali condizioni di vincolo producono una riduzione del Momento positivo e la condizione di confronto del Taglio rimane inalterata. Tale aspetto sarà dimostrato nei paragrafi successivi. Le condizioni c), d) ed e) sono di per se una condizione cautelativa.

2.2 Adozione della condizione isostatica quale modello di riferimento del ponte

Il fatto che un ponte sia stato ridotto, in ogni caso, a una condizione isostatica non modifica il rapporto tra Momenti di confronto e Momenti prodotti.

Infatti, applicando qualsiasi Momento ai vincoli, M'_1 e M'_2 , l'effetto è semplicemente quello di traslare rigidamente l'andamento dei Momenti verso l'alto, sia per l'involuppo di confronto sia per quello prodotto dai carichi eccezionali.

La figura successiva riassume il concetto appena espresso. Considerando un punto qualsiasi dell'impalcato di un ponte e una determinata posizione dei carichi, si rappresenta, a sinistra, il diagramma d'involuppo degli sforzi dovuto ai sovraccarichi. Essendoci continuità con le campate adiacenti, si avranno negli estremi i Momenti iperstatici M_1 e M_2 , e nella parte centrale il Momento M_0 .

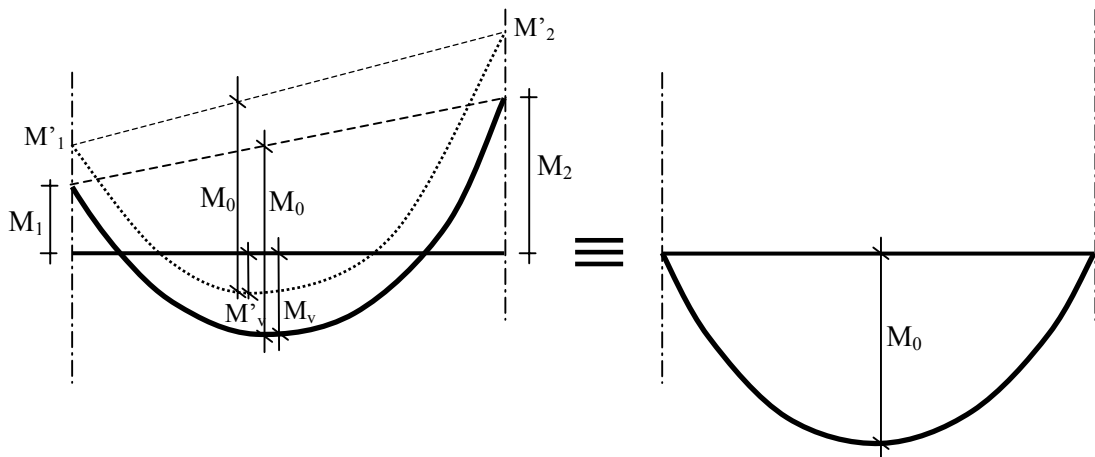


Figura 3: si mostrano due diagrammi d'involuppo generico, considerando la stessa posizione del sovraccarico e rigidezze differenti negli estremi.

Supponendo, per semplificare, che il carico che genera uno dei diagrammi a sinistra della figura sia uniformemente distribuito (il ragionamento è valido per un qualsiasi carico e diagramma dei Momenti), per l'equilibrio si avrà:

$$\frac{|M_1| + |M_2|}{2} + M_v = M_0 = \frac{q_d L^2}{8}$$

Considerando un diagramma differente tale da produrre lo stesso Momento di chiusura M_0 , si avrà ugualmente:

$$\frac{|M'_1| + |M'_2|}{2} + M'_v = M_0 = \frac{q_d L^2}{8}$$

Il Momento M_0 generato dal carico è indipendente dai Momenti iperstatici M_1 , M_2 o M'_1 , M'_2 . La parte destra della figura rappresenta il modo per confrontare i carichi in funzione dei diagrammi dei Momenti che si producono.

La figura successiva é la trasposizione del precedente concetto; si potrà confrontare il diagramma d'involuppo prodotto da un carico eccezionale con il diagramma d'involuppo generato dai sovraccarichi della norma.

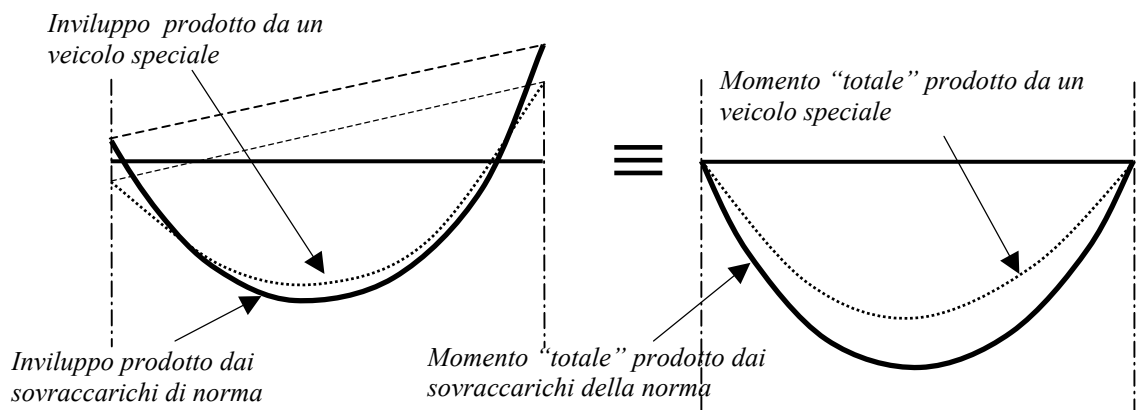


Figura 4: confronto carichi eccezionali e sovraccarichi da norma.

2.2.1 Taglio

La verifica a Taglio si basa sulle stesse considerazioni effettuate per la flessione e il rapporto tra Taglio di confronto e Taglio prodotto non cambia neppure se varia la sezione resistente.

2.2.2 Compressione e pressoflessione

Le pile dei ponti devono essere verificate a compressione e a pressoflessione.

Se dalle analisi precedenti si deduce che il carico produce sollecitazioni inferiori a quelle di confronto, la compressione sulla pila sarà inferiore in quanto è inferiore il valore del taglio agli appoggi.

Per la pressoflessione l'effetto dell'eccentricità del veicolo eccezionale è valutato cautelativamente ponendo la condizione che al superamento del 50% del Momento e/o Taglio massimo di confronto si impone il transito "esclusivo", cioè in assenza di altro traffico e con la condizione di passaggio sull'asse longitudinale.

2.2.3 Torsione

La Torsione prodotta sull'impalcato derivante dall'effetto dell'eccentricità del veicolo eccezionale è valutato cautelativamente ponendo la condizione che al superamento del 50% del Momento e/o Taglio massimo di confronto si impone il transito "esclusivo", cioè in assenza di altro traffico e con la condizione di passaggio sull'asse longitudinale.

2.2.4 Teorema di Appiano - Ponti strallati o sospesi

I ponti strallati o sospesi aggiungono alle verifiche precedenti anche quella sullo sforzo prodotto lungo l'asse degli stralli o pendini.

Si vuole dimostrare che, non superando col carico eccezionale le sollecitazioni di confronto $M(x)$ e $T(x)$ derivanti dalla normativa, anche le forze verticali massime che si determinano sugli stralli o pendini durante il transito del carico eccezionale sono inferiori.

Tale affermazione rientra nel **Teorema di Appiano** che permette di trasformare una combinazione di carico complessa in un'unica forza dalla quale i rapporti tra carico di confronto e carico eccezionale diventano estremamente semplici.

Definiamo con $M(x)$ la funzione generica rappresentativa dell'andamento del Momento e con $F(x)$, **Forza di Appiano**, la funzione rappresentativa di **una forza concentrata equivalente che transitando lungo la luce del ponte varia in intensità generando un Momento identico ad $M(x)$** .

Se con $R(x)$ definiamo la reazione all'appoggio di sinistra derivate da $F(x)$ si ha, nel caso isostatico, che:

$$R(x) = F(x) \frac{L-x}{L}$$

ed essendo

$$M(x) = R(x) \cdot x$$

sostituendo questa equazione alla prima si ottiene che

$$F(x) = M(x) \frac{L}{x(L-x)} \quad (1)$$

In altre parole, **è sempre possibile sostituire un treno di carico complesso, formato da più forze concentrate e distribuite, con un'unica forza concentrata equivalente di intensità variabile.**

Pertanto, se il Momento prodotto dal carico eccezionale $M_p(x)$ è inferiore a quello di confronto $M_c(x)$ allora anche la forza equivalente $F_p(x)$ è inferiore alla forza equivalente del Momento di confronto $F_c(x)$.

Infatti, dalla disequazione imposta

$$M_p(x) < M_c(x) \quad (2)$$

semplificando il rapporto $\frac{x(L-x)}{L}$ si ottiene che

$$F_p(x) < F_c(x) \quad (3)$$

Dato che le eventuali condizioni di vincolo all'appoggio o lungo la luce non modificano la forma del momento e del taglio, ma producono solo uno slittamento verso l'alto, come dimostrato al paragrafo 2.2, e se la **Forza di Appiano** del carico eccezionale è inferiore alla **Forza di Appiano** del carico di confronto, allora anche la forza da essa generata lungo lo strallo o pendino riceve dal carico eccezionale uno sforzo inferiore a quello di confronto, come volevasi dimostrare.

2.2.5 Ponti ad arco

La condizione cautelativa consente la riduzione a struttura isostatica anche per i ponti ad arco poiché forniscono un andamento del Momento e del Taglio identico a quello isostatico indipendentemente dalla freccia dell'arco.

Un ponte ad arco è assimilabile ad un ponte isostatico con forma ricurva.

In altre parole un ponte ad arco, progettato attraverso la determinazione della curva delle pressioni, ha lo spessore resistente adeguato ai carichi previsti in normativa e di conseguenza adeguato al carico eccezionale che produce sollecitazioni inferiori.

Infatti, riducendo i carichi che transitano sull'arco alla sola *Forza di Appiano* determinata dalla equazione (1) e imponendo il rispetto della disequazione (2) e di conseguenza della (3) allora anche la curva delle pressioni determinata dalla poligonale della forza $F_p(x)$ sarà all'interno dello spessore minimo disegnato dalla poligonale della forza $F_c(x)$.

2.2.6 Viadotti a travata continua

I viadotti a travata continua comportano una combinazione di carico particolare che vede la possibilità che il carico si ponga contemporaneamente su due campate alternate (prima e terza, oppure seconda e quarta ecc.) producendo un momento reciprocamente più elevato.

Questa condizione è superata della verifica (2) adottata sulle singole campate in quanto, anche in questo caso, le due *Forze di Appiano* corrispondenti ai momenti nelle due diverse campate rispettano sempre la disequazione (3) e di conseguenza l'incremento del momento per effetto del carico contemporaneo prodotto dal carico eccezionale sarà anche esso inferiore a quello di confronto.

2.3 Andamento del momento massimo di confronto

Il programma permette di inserire tutte le categorie progettuali di carico (carichi concentrati, carichi distribuiti e combinazioni tra loro) previste nelle norme impiegate al tempo della progettazione oppure con le norme vigenti. Il caso di “*di limite di portata*” imposto da una cartellonistica all’ingresso del ponte, è considerato come transito di una forza concentrata.

Le norme possono essere applicate anche contemporaneamente, cioè imponendo più combinazioni di carico (ad esempio norma impiegata al tempo del progetto e norma attuale), in questo caso il sistema produrrà delle curve involucro di confronto che rappresentano il **minimo** Momento o Taglio ottenuto dalla sovrapposizione.

Per l’attivazione del sistema automatico di calcolo dei carichi eccezionali dovrà essere compilata inizialmente una scheda del programma Bridge ^[4], per indicare i parametri che definiscono il treno di carico di confronto.

I parametri utilizzabili sono:

N° F	= numero di forze concentrate
F [kN]	= entità forza concentrata (somma delle forze sulla trasversale)
m [m]	= spazio tra le forze concentrate
i [m]	= interasse delle forze
Q [kN/m ²]	= carico distribuito (sulla larghezza convenzionale)
C [m]	= larghezza corsia convenzionale
F _{corsia} [kN]	= come la voce “F” per la seconda corsia
Q _{Corsia} [kN/m ²]	= come la voce “Q” per la seconda corsia
Coeff. Var.	= coefficiente di variazione delle forze o dei carichi applicati

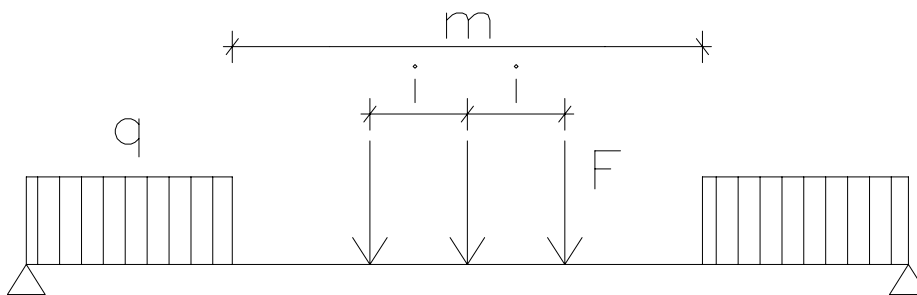


Figura 5: distribuzione dei carichi da normativa.

Nel caso di *limite di portata* si pone:

N° F	= 1
F [kN]	= limite di portata indicato nel singolo ponte
m [m]	= 0
i [m]	= 0
Q [kN/m]	= 0
C [m]	= 0
F _{corsia} [kN]	= 0
Q _{Corsia} [kN/m ²]	= 0
Coeff. Var.	= 1

2.4 Calcolo delle curve di confronto

L'Andamento del *Momento massimo di confronto* è ottenuto facendo transitare, sul modello di riferimento di ogni singolo ponte da analizzare, il treno di carico di categoria previsto a norma e calcolando il Momento massimo per ogni posizione di transito con intervalli di $1/100$ della luce. Se nelle condizioni di confronto sono previste più norme (di progetto e attualmente in vigore) l'andamento del Momento massimo di confronto assume una forma creata dall'involuppo ottenuto dal valore più piccolo, per ognuno dei 100 punti di suddivisione della luce, calcolato con le due norme.

Il carico distribuito Q è considerato come una serie di forze concentrate "q" poste a interasse 1 metro e per una lunghezza pari alla luce. Pertanto la lunghezza complessiva del treno di carico di confronto è $2L + m$.

Il calcolo è effettuato partendo dall'ingresso della prima forza fino alla fuoriuscita dell'ultima.

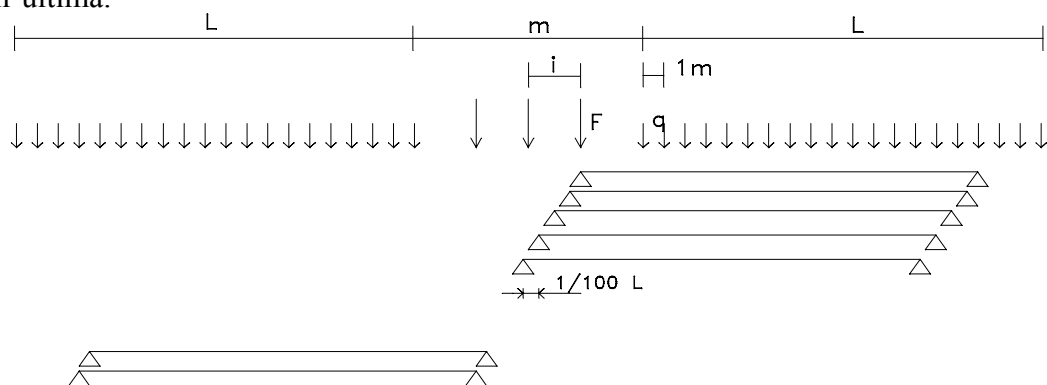


Figura 6: analisi del passaggio del carico.

L'Andamento del *Momento massimo prodotto* è quello ottenuto facendo transitare allo stesso modo il treno di carico eccezionale. Per il Taglio il calcolo avviene nello stesso identico modo del Momento.

2.5 Analisi del carico eccezionale

I valori di Momento e Taglio massimo calcolati nel transito del carico eccezionale sono confrontati, su una linea di viabilità, con l'andamento del *Momento massimo di confronto*, $M_{m,c}$, e il *Taglio massimo di confronto*, $T_{m,c}$.

In base al rapporto tra valori prodotti e di confronto, letto in percentuale, si potrà ottenere che:

- il Momento e il Taglio hanno sempre, in ognuno dei 100 punti, valori inferiori al 50% di quello di confronto: in questo caso **il carico eccezionale è transitabile liberamente**;
- il Momento o il Taglio hanno superato, almeno in un punto, 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;
- il Momento o il Taglio hanno superato, almeno in un punto, il 100% del valore di confronto e pertanto la verifica è considerata negativa: **il carico eccezionale non è transitabile**.

3 STATO DI CONSERVAZIONE DELLA STRUTTURA

Una volta eseguiti tutti i calcoli riguardanti le sollecitazioni massime indotte su ogni struttura, il Metodo dei Carichi Eccezionali consente anche una verifica dei risultati delle ispezioni visive eseguite secondo il Metodo della Valutazione Numerica. [5] [6]

Nel caso in cui siano stati rilevati, durante l'ispezione, dei difetti potenzialmente pericolosi con valenza $G = 5$, il metodo produce una Non Conformità NC sulla struttura implicando un divieto al transito. [7] L'intransitabilità del carico è evidenziata anche nel caso di assenza di collaudo, di mancata ispezione primaria o successiva o di Non Conformità considerate potenzialmente pericolose e introdotte manualmente dal supervisore delle ispezioni.

Le Non Conformità individuate e/o inserite nel sistema informatico pongono un immediato e automatico vincolo di limitazione al transito. Per essere superate dovranno essere analizzate singolarmente, all'atto della verifica dei dati ispettivi, togliendo il "visto" di Non Conformità se considerate derivanti da difetti staticamente non pericolosi.


Valutazione struttura Provincia di Bolzano test CE

Scheda di valutazione

Descrizione elemento	Posizione	Descrizione materiale	N° elem.
Pile		Calcestruzzo	5
Giunti		Di dilatazione	5
▶ Travi-Traversi		c.a. - c.a.p.	24
Travi-Traversi		c.a. - c.a.p.	5
Soletta		Calcestruzzo	6

Stampa Stampa difetti G=5 Utenti
 Stampa compressa
 Schede valutazione
 Storico

Travi-Traversi		N° elementi=24	c.a. - c.a.p.					
Descrizione foto	Note	Visto	Descrizione difetto	G	K1	K2	NC	AP
		<input checked="" type="checkbox"/>	1.1) Macchie di umidità passiva	1	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Foto 13: in varie zone intradosali di tutte le	13	<input checked="" type="checkbox"/>	1.2) Macchie di umidità attiva	4	0.2	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Foto 14: sulle facciate laterali esterne delle	14	<input checked="" type="checkbox"/>	1.3) Cfs dilavato/ammalorato	2	0.2	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Foto 15: in alcuni punti su tutte le travi, sopr	15	<input checked="" type="checkbox"/>	1.4) Vespaia	2	0.2	0.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Foto 16: all'intradosso di tutte le travi, sopr	16	<input checked="" type="checkbox"/>	1.5) Distacco del copriferro	2	0.5	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
▶ Foto 17: nelle zone delle travi dove è	17	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6) Armatura ossidata	5	0.5	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	1.7) Lesioni capillari ancoraggi	1	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	1.8) Testate di ancoraggio non sigillate	2	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	1.9) Distacco tamponi testate	1	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	1.10) Lesioni su anima lungo cavi	2	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	1.11) Lesioni lungo suola del bulbo	2	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	1.12) Guaine in vista	2	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	1.13) Lesioni a ragnatela modeste	1	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	1.16) Fessure diagonali	5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	1.18) Fessure trasversali	5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	1.19) Lesioni/distacco travi-traversi	3	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Difettosità relativa **24**
 Difettosità assoluta **267**
 Completamento % **100**
 Difet. Accessori **4**
 NC **5** AP **1**

Elementi accessori		Descrizione difetto			
N°	Descrizione accessorio	Descrizione foto	Note	Descrizione difetto	NC AP
▶ 1	Stato della pavimentazione			<input type="checkbox"/> 5.15) Distivello tra rilevato e impalcat	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2	Parapetti			<input type="checkbox"/> 5.16) Presenza di dossi	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3	GuardRail			<input checked="" type="checkbox"/> 5.17) Fessure/anomalie	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4	Cordoli				
5	Convogliamento acque				
6	Marciaiedi				
7	Pali di illuminazione				
8	Sottoservizi				

Calcola difettosità

Figura 7: esempio di scheda ispettiva con una Non Conformità

L'immagine precedente mostra un difetto considerato Non Conforme, inserito dal reparto che si occupa delle ispezioni, difetto che sarà evidenziato nelle tabelle ripilogative di analisi dei carichi eccezionali.

4 LIMITAZIONI GEOMETRICHE SULLA LINEA

La verifica della transitabilità del carico eccezionale prevede anche la verifica delle dimensioni geometriche del mezzo di trasporto eccezionale con le limitazioni presenti lungo il percorso, come i limiti di altezza, i restringimenti di carreggiata, di altezza e larghezza combinata (caso di restringimento in galleria) e di curvatura dell'asse stradale.



Fig. 8: mancato rispetto del limite di altezza



Fig. 9: restringimento di carreggiata



Fig. 10: galleria con limiti di altezza



Fig. 11: punto con difficoltà di curvatura

Tutti questi ostacoli sono normalmente presenti lungo la linea stradale o ferroviaria e vanno riportati nel sistema con la loro chilometrica. Gli ostacoli possono essere di carattere temporaneo o illimitato e sono inseriti nel programma dai singoli reparti competenti delle amministrazioni (manutenzione, progetto).

5 MODULO DEI CARICHI ECCEZIONALI NEL SOFTWARE BRIDGE

L'ausilio dell'informatica è particolarmente utile poiché l'ente preposto alla gestione dei ponti deve esaminare un grande numero di transiti di carichi eccezionali sui ponti della rete che amministra. Per le province si pensi a diverse migliaia di richieste l'anno. Il modulo per il calcolo dei carichi eccezionali esegue, all'interno del più completo software di gestione Bridge, una serie di calcoli e confronti per verificare l'idoneità o meno al passaggio.

La procedura applicativa prevede una serie di operazioni preliminari atte a predisporre il software all'analisi dei carichi personalizzando le condizioni di confronto ponte per ponte. Partendo dal presupposto che nel software Bridge siano state inserite le caratteristiche geometriche dei ponti si dovrà innanzitutto definire le normative che s'intendono porre come carico di confronto.

Questo avviene nella apposita scheda che consente di inserire la lista delle normative prese come riferimento nel calcolo di confronto.

Categoria	Descrizione	N° F	F (kN)	m (m)	i (m)	Q (kN/m²)	Q Corsie	Q Impalcato	Corsia (m)	F Corsia >1 (kN)	Q Corsia >1 (kN/m²)	Coeff. Var. F	Coeff. Var. Q
0	Portata limite	0	0	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	0	1	1
1	categoria 1 - DM90	3	200	15	1.5	8.6000004	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3.5	150	4.2800002	1	1
2	categoria 1 - TU 2005	2	300	15	1.2	9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	200	2.5	1	1
3	categoria 1 - TU 2008	2	300	0	1.2	9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	200	2.5	1	1
4	categoria 2 - TU 2008	2	240	0	1.2	7.1999998	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	200	2.5	1	1
5	distribuita	0	0	0	0	5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	0	1	1
6	categoria 1 - TU 2008 - rid.20%	2	300	0	1.2	9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	200	2.5	0.80000001	0.80000001

Figura 12: configurazione dei carichi da normativa

La tabella permette di inserire le condizioni di carico imposte dalle varie normative succedutesi nel tempo. Le singole colonne permettono l'applicazione delle forze concentrate e dei carichi distribuiti previsti in norma sia per la prima sia per le corsie a fianco.

Le ultime due colonne consentono di introdurre una riduzione di tutti i carichi di calcolo con operatore da 0 a 1. Questo coefficiente di sicurezza determina una normativa di riferimento ridotta (ad esempio ponendo 0,8 si riduce del 20%) a giustificare l'analisi di ponti di cui non si conoscano con precisione le limitazioni derivanti da eventuali fenomeni di degrado e pertanto si decida, cautelativamente, di introdurre una limitazione generalizzata di portata. Di consuetudine si definisce questa norma aggiungendo alla denominazione il termine "rid. 20%" (vedi categoria 6 dell'esempio).

Nell'esempio, alla categoria normativa "5" "distribuita", si è inserita una norma di riferimento di confronto che prevede il calcolo come se tutto l'impalcato fosse caricato

con un carico distribuito di 5 kN. Per permettere questo calcolo “il visto” è stato posto nella colonna “Q impalcato” ad indicare che il calcolo è effettuato considerando Q distribuito su tutta la larghezza dell’impalcato, marciapiedi compresi, contrariamente alle norme standard dove il carico Q è posto sulle singole corsie “Q corsie” e diverso tra prima e corsie successive “Q corsia >1 (kN)”.

Per attivare la verifica informatizzata dei carichi eccezionali si dovrà preliminarmente inserire le categorie di confronto in ogni ponte. Nell’esempio successivo si è entrati alla voce Collaudi di un singolo ponte e si è attivata la norma di calcolo identificata con “categoria 1-TU2008”.

The screenshot shows the 'Collaudi Provincia di Pisa' software interface. At the top, there's a header with the title and a menu bar. Below the header, there's a table with columns for 'Data collaudo' and 'Scadenza collaudo'. The main area is divided into several sections: 'Transitabilità' (with sub-sections for 'Veicoli ordinari' and 'Mezzi d'opera'), 'Scheda Collaudo', 'Fotografie', 'Carichi trasporti eccezionali', 'OK', and 'Utenti'. The 'Scheda Collaudo' section contains various input fields and text areas, including 'Collaudatore', 'Ditta coaudiuvatrice', 'Descrizione prova', 'Mezzi utilizzati', 'Descrizione carichi', and 'Conclusioni'. The 'Categoria' list on the right side of the 'Scheda Collaudo' section is expanded, showing several options, with 'categoria 1 - TU 2008' selected. The 'Portata limite (t)' and 'Velocità max (Km/h)' fields are also visible.

Figura 13: esempio di scelta della normativa

E' possibile vistare contemporaneamente più categorie in modo che l'andamento del Momento e del Taglio sarà formato da una curva inviluppo rappresentante i valori minimi ottenuti dalle normative utilizzate nei singoli 100 punti di analisi. Unica eccezione quando si seleziona la prima condizione di portata limite, dove non sarà possibile attivare altre categorie normative.

Il modulo dei carichi eccezionali non è esclusivamente una procedura di analisi ingegneristica, ma contiene al suo interno tutta una serie d'informazioni fondamentali per il rilascio dei permessi di transito. Sono presenti dei database che permettono al responsabile di inserire i dati dell'impresa richiedente, che potranno essere richiamati in seguito nel caso di ulteriori richieste con la facilità della gestione informatica e con ricerche secondo nomi e date.

Ragione Sociale	Via	Cap	Località
Babylon	Tresette, 54	54033	Carrara
Canistracci oli	Risorgimento	40100	Bologna
Folsvagen	Dora, 22	38100	Trento
Grande Impresa Lenzi e Tetrapack	Maronello di Cervia	05870	Cervia
Impresa	Imprese	39100	Bolzano
Impresa Funazzi	Alessandria		
Impresa Utile	Tonale	15789	Trento
Mega Camion	Ambalagi, 19	39100	Bolzano
Modiglia	Roma, 21	39100	Bolzano
Quattrom	Zuegg, 20	39055	Pineta di Laives (BZ)

Figura 14: fase di inserimento del richiedente

Scelto o inserito il richiedente devono essere inseriti i dati della richiesta, le date di passaggio e le strade su cui è previsto il transito del carico eccezionale. Quest'ultima operazione avviene semplicemente "vistando" la strada che appare nella lista di tutte le strade presenti nell'area di competenza. La compilazione della scheda prosegue inserendo le dimensioni d'ingombro del mezzo, larghezza, altezza, raggio di curvatura, lunghezza, per poi procedere all'inserimento dei dati di carico degli assi con le relative distanze.

Figura 15: inserimento dati d'ingombro e scelta delle strade

Il documento cartaceo di richiesta ricevuto potrà essere memorizzato nelle tabelle “**Documenti ricevuti**”, mentre quelli emessi dall’amministrazione saranno memorizzati in “**Documenti emessi**”. Inseriti i dati di richiesta si procede alla verifica della transitabilità del mezzo eccezionale.

Nell’esempio che segue si analizza un carico composto da 8 assi che deve transitare sulla SS508.

Il calcolo potrà essere eseguito su tutta la lunghezza della linea oppure, tramite uno zoom, solamente nel tratto di strada previsto nel percorso del carico eccezionale.

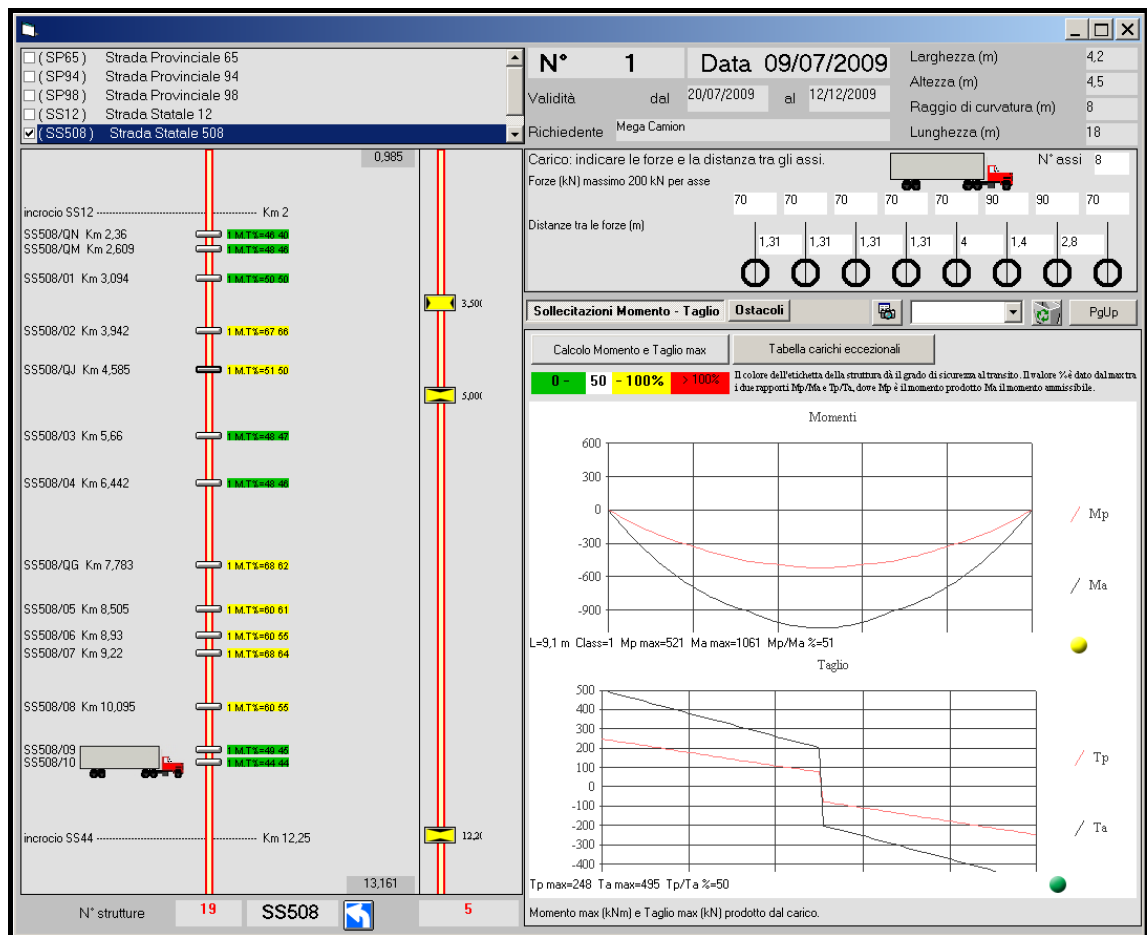


Figura 16: calcolo dell’andamento dei Momenti e dei Tagli

Premendo il tasto “calcolo momento e taglio” si attiva l’analisi, che procede analizzando i ponti dall’alto verso il basso della linea verticale che individua la SS 508. I valori di Momento $M_{m,p}$ e Taglio $T_{m,p}$ massimo calcolati nel transito del carico eccezionale sono messi a confronto con l’andamento del *Momento massimo di confronto* $M_{m,c}$ ed il *Taglio massimo di confronto* $T_{m,c}$.

Ogni rettangolino rappresenta un ponte ed a fianco, mano a mano che l’analisi procede, appaiono delle strisce colorate e all’interno i valori in % del rapporto tra Momenti e Taglio prodotti e di confronto.



Le informazioni sono evidenziate in forma “semaforica” coi colori, verde – giallo – rosso, che consentono una visualizzazione immediata della risposta dell’intera linea stradale al transito del carico eccezionale:

- **VERDE**: carico **transitabile**, momento e taglio hanno valori sempre inferiori al 50% di quello di confronto (in tutti i 100 punti analizzati).
- **GIALLO**: **limitazione** del traffico e transito al centro della carreggiata, momento e taglio hanno superato, almeno in un punto, il 50% del valore di confronto.
- **ROSSO**: carico **non è transitabile**, momento e taglio hanno superato, almeno in un punto, il 100% del valore di confronto.

Nell'esempio la striscia verde **1 M.T%=46 40** indica con "1" che il ponte è stato analizzato con la Categoria 1 di normativa ed i numeri "46" e "40" indicano che il rapporto $M_{m,p}/M_{m,c} = 46\%$ e $T_{m,p}/T_{m,c} = 40\%$.

Selezionando un rettangolino rappresentativo di un ponte, sul lato destro della schermata viene diagrammato il Momento ed il Taglio, sia prodotto sia di confronto.

Entrando nella tabella specifica col tasto "Tabella carichi eccezionali" si visualizzano i valori di calcolo: il momento e taglio massimo prodotto e di confronto ed il loro rapporto percentuale. Il risultato in forma di colorazione semaforica è di nuovo rappresentato nell'ultima colonna "C.E."

Tabella carichi eccezionali Provincia di Bolzano test CE													
N°	1	Data	09/07/2009	Richiedente	Mega Camion								
Validità	dal 20/07/2009	al 12/12/2009	Ingombri veicolo		Larghezza (m)	4,2	al	8					
(SS508) Strada Statale 508					Altezza (m)	4,5	Lunghezza (m)	18					
Cod. Struttura	Pos.(Km)	(m)	Luce (m)	N° Corsie	M.prod.(kNm)	M.am.(kNm)	Mp/Ma (%)	T.prod.(kN)	T.am.(kN)	Tp/Ta (%)	NC	Isp.	C.E.
SS508-0001	2	360	4,5	0	144	374	46	157	392	40	1	●	●
SS508-0002	2	609	3	0	79	169	48	136	296	46	2	●	●
SS508-0003	3	94	9	0	512	1047	50	246	496	50	1	●	●
SS508-0004	3	942	19,6	0	1779	2715	67	411	626	66	0	●	●
SS508-0005	4	585	9,1	0	521	1061	51	248	495	50	0	●	●
SS508-0006	5	660	2	0	45	100	48	115	246	47	0	●	●
SS508-0007	6	442	3	0	79	169	48	136	296	46	0	●	●
SS508-0008	7	783	28,75	0	3146	4712	68	472	759	62	0	●	●
SS508-0011	8	505	13	0	874	1644	60	319	525	61	0	●	●
SS508-0012	8	930	41	0	4984	8365	60	510	940	55	0	●	●
SS508-0013	9	220	22	0	2136	3174	68	429	666	64	0	●	●
SS508-0014	10	95	41	0	4984	8365	60	510	940	55	0	●	●
SS508-0015	10	792	68,2	0	7560	15403	49	532	1187	45	0	●	●
SS508-0009	11	3	5,8	0	231	569	44	191	437	44	1	●	●
SS508-0016	14	547	24,8	0	2555	3778	69	448	705	64	1	●	●
SS508-0017	15	948	17	0	1401	2264	65	380	594	64	1	●	●
SS508-0010	18	79	4,3	0	135	345	46	152	383	40	2	●	●
SS508-0018	28	730	36	0	0	0	0	0	0	0	0	●	●
SS508-0019	36	604	43,2	0	0	0	0	0	0	0	0	●	●

● P portata limite
 ● S Scadenza Ispez./collaudo
 ● C collaudo
 ● L luce
 ● Raggio di curvatura (m)
 Anteprima
 PgUp

Figura 17: tabella riepilogativa dell'analisi del carico eccezionale

All'interno del semaforo colorato in rosso è presente una lettera che fornisce ulteriori indicazioni:

- P** il calcolo è stato effettuato con l'applicazione del *limite portata*,
- S** è scaduto il collaudo,
- C** assenza del collaudo,
- L** manca il valore della luce e pertanto non è stato effettuato il calcolo.

La penultima colonna "**Isp**" riporta, sempre in forma semaforica, gli eventuali impedimenti al transito derivanti da informazioni presenti nel sistema di gestione Bridge acquisiti dalle ispezioni sui ponti.

Se il semaforo è rosso vuol dire che sono presenti delle Non Conformità di cui alla colonna "**NC**" ne è evidenziata la quantità. La tipologia di Non Conformità potrà essere visionata nella sezione **Ispezioni** del sistema di gestione Bridge. Se all'interno dello stesso semaforo rosso è presente una lettera, si viene informati delle eventuali motivazioni formali dell'impedimento:

- S** è scaduta l'ispezione;
- I** non è stata eseguita l'ispezione.

Con il tasto antepresa si può stampare il report finale che riporta tutti i valori di calcolo ottenuti sulla linea stradale analizzata.

Carichi Eccezionali													
N°	1	Data	09/07/2009		Validità	Dal 20/07/2009		al 12/12/2009					
Ingombri veicolo	Raggio di curvatura (m)	8	Altezza (m)	4,5	Lunghezza (m)	18	Larghezza (m)	4,2					
Richiedente	Mega Camion												
Distribuzione del carico lungo gli assi				N° assi	8								
Forze (kN)				70	70	70	70	70	90	90	70		
Distanza assi (m)				1,31	1,31	1,31	1,31	4	1,4	2,8			
(SS508) Strada Statale 508													
Cod. Ponte	Posizione (km)	Luce(m)	N° Corsie	Mp(kNm)	Ma(KNm)	Mp/Ma (%)	Tp(kN)	Ta(kN)	Tp/Ta(%)	NC	Isp.	C.E.	
SS508-0001	2 . 360	4,5	0	144	374	46	157	392	40	1	●	●	
SS508-0002	2 . 609	3	0	79	169	48	136	296	46	2	●	●	
SS508-0003	3 . 94	9	0	512	1047	50	246	496	50	1	●	●	
SS508-0004	3 . 942	19,6	0	1779	2715	67	411	626	66	0	●	●	
SS508-0005	4 . 585	9,1	0	521	1061	51	248	495	50	0	●	●	
SS508-0006	5 . 660	2	0	45	100	48	115	246	47	0	●	●	
SS508-0007	6 . 442	3	0	79	169	48	136	296	46	0	●	●	
SS508-0008	7 . 783	28,75	0	3146	4712	68	472	759	62	0	●	●	
SS508-0011	8 . 505	13	0	874	1644	60	319	525	61	0	●	●	
SS508-0012	8 . 930	41	0	4984	8365	60	510	940	55	0	●	●	
SS508-0013	9 . 220	22	0	2136	3174	68	429	666	64	0	●	●	
SS508-0014	10 . 95	41	0	4984	8365	60	510	940	55	0	●	●	
SS508-0015	10 . 792	58,2	0	7560	15403	49	532	1187	45	0	●	●	
SS508-0009	11 . 3	5,8	0	231	569	44	191	437	44	1	●	●	
SS508-0016	14 . 547	24,8	0	2555	3778	69	448	705	64	1	●	●	
SS508-0017	15 . 948	17	0	1401	2264	65	380	594	64	1	●	●	
SS508-0010	18 . 79	4,3	0	135	345	46	152	383	40	2	●	●	
SS508-0018	28 . 730	36	0	0	0	0	0	0	0	0	●	●	
SS508-0019	36 . 604	43,2	0	0	0	0	0	0	0	0	●	●	

● Portata Limite ● Luce ● Collaudo ● Ispezione ● Scaduto Ispezione-Collaudo

Figura 18: stampa dei dati

Successivamente si procede all'analisi delle altre linee di strada previste nella richiesta di transito del carico eccezionale.

La verifica sulle limitazioni geometriche avviene attivando il tasto "Verifica passaggio ostacoli" in base agli ostacoli presenti lungo il percorso di transito ed evidenziata con la seconda linea verticale rappresentativa della strada in analisi.

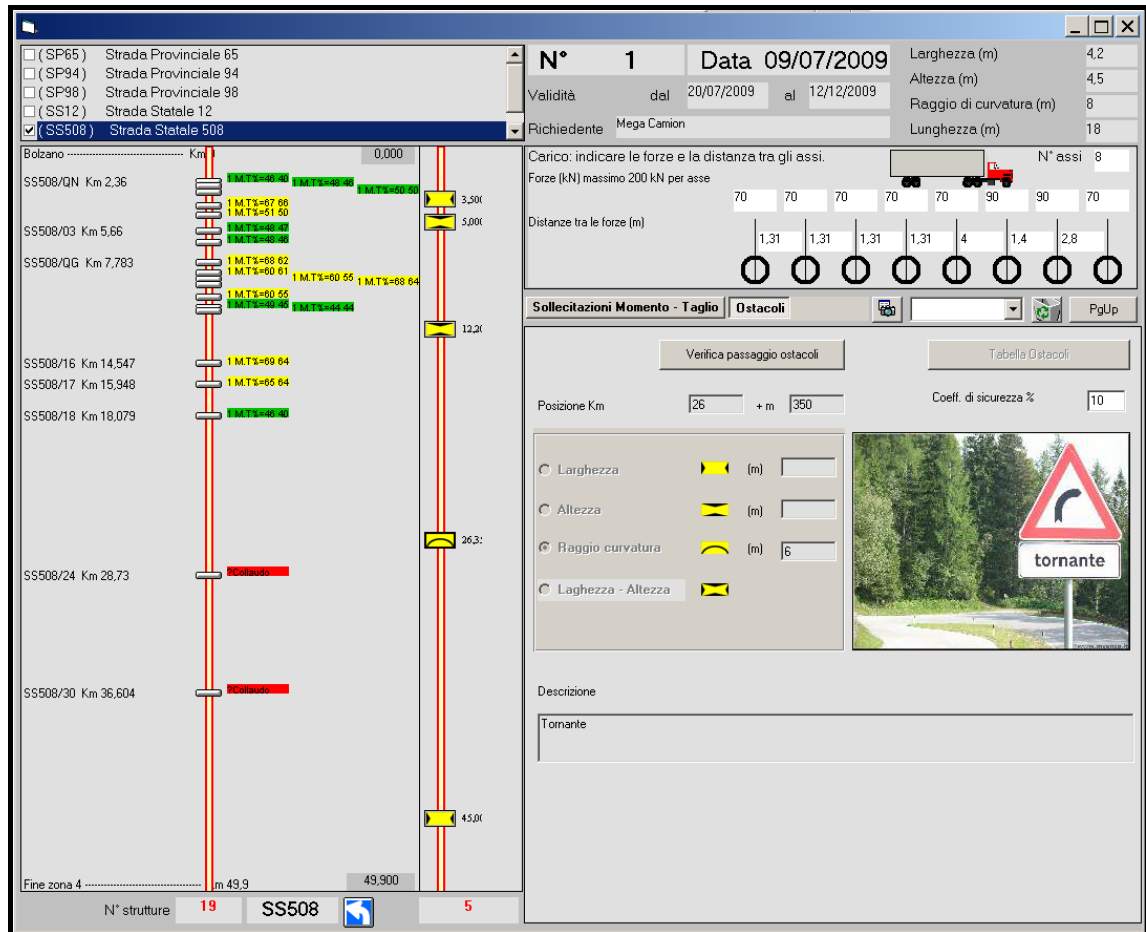


Figura 19: schermata di verifica geometrica

Una segnalazione, di tipo semaforico, rosso o verde, consente una visualizzazione immediata della risposta dell'intera linea stradale al transito del carico eccezionale dal punto di vista geometrico.

Nel caso di semaforo rosso la lettera riportata all'interno indica che sono stati superati:

- L** limite di larghezza,
- A** limite di altezza,
- R** raggio di curvatura del mezzo,
- L-A** limite combinato di larghezza ed altezza.

Analogamente ai carichi, entrando nella tabella specifica col tasto "Tabella ostacoli" si possono visualizzare le motivazioni che determinano un eventuale impedimento procedendo ad una stampa dei risultati che evidenzia i tipi di ostacolo e la loro posizione sulla linea stradale.

6 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] *Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada* - Decreto del Presidente della Repubblica 16 dicembre 1992, n. 495 e successive modificazioni. - *titolo III – Dei veicoli* Art. 216. - Lunghezza massima degli autoarticolati, degli autotreni e dei filotreni Art. 217. - Inscrivibilità in curva dei veicoli - Fascia d'ingombro 218. - Massa limite sugli assi
- [4] S. Martinello - *Ponti. Sorveglianza manutenzione e interventi – Il software Bridge* – Dispense CIAS, Alessandria 5.11.2004
- [5] AA.VV. - *Manuale per la Valutazione dello stato dei Ponti* – Terza edizione, Edizione CIAS, settembre 2008
- [6] C. Bertoluzza, S. Martinello – *Valutazione Numerica dei Degradi* – Rivista Le Strade, Edizione CIAS, 1-2/2005, pagg. 1-7
- [7] R. Bruson - *Ponti e viadotti: ispezioni visive e tecniche di ripristino - Le ispezioni visive dei ponti"* – Dispense CIAS, Bolzano 10-11-12.12.2008

