



Alcune considerazioni sull'evoluzione normativa dei carichi da traffico nella progettazione dei ponti stradali in Italia

Giovanni Buratti^a, Antonella Cosentino^a, Francesco Morelli^a, Walter Salvatore^a, Pasquale Bencivenga^b, Mattia Zizi^b, Gianfranco De Matteis^b

^a Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale, Università di Pisa, Largo Lucio Lazzarino, 56122, Pisa, Italia

^b Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale, Università della Campania "Luigi Vanvitelli, Via San Lorenzo, 81030 Aversa (CE), Italia

Keywords: Ponti, Infrastrutture, Carichi da traffico, Vulnerabilità, Normativa.

ABSTRACT

Durante lo scorso secolo, l'incessante necessità di infrastrutture efficienti e capillari, capaci di interconnettere un territorio sempre più ampio, e la conseguente evoluzione dei mezzi di trasporto, unitamente alla crescente sensibilità nei confronti della sicurezza delle costruzioni civili, hanno condotto alla necessità di porre in migliore considerazione le norme riguardanti la progettazione delle infrastrutture ed in particolare delle strutture da ponte. In Italia, dopo le prime raccomandazioni, apparse agli inizi del '900, nelle quali veniva lasciata al progettista la libertà di stabilire i carichi in funzione delle esigenze della strada cui il ponte si trovava a servizio, nel 1933 fu emanata la prima norma ufficiale riguardante i carichi da traffico, dando inizio ad un periodo di intensa evoluzione della normativa che, periodicamente rivista e aggiornata, arriva ai giorni nostri, ovviamente, profondamente cambiata. Per far luce su tali aspetti, il presente lavoro riporta una sintesi ragionata di tale trasformazione, soffermando l'attenzione su come le differenti tipologie di carico e le varie distribuzioni e combinazioni di esse abbiano avuto un riflesso significativo sulle sollecitazioni di progetto nelle diverse epoche storiche. Quindi, allo scopo di implementare uno strumento agile di valutazione della sicurezza delle strutture realizzate precedentemente all'entrata in vigore della vigente normativa tecnica, è stato sviluppato uno studio parametrico per definire aprioristicamente l'entità della variazione delle caratteristiche della sollecitazioni.

1 INTRODUZIONE

Già all'inizio del secolo scorso, in Italia, si è iniziato a porre particolare attenzione all'importanza della conoscenza dello stato di conservazione delle strutture dei ponti, al fine di poter programmare interventi di semplice riparazione, qualora fossero intervenute azioni impreviste o degradi dovuti a usura e agenti atmosferici, oppure di rinforzo, se fossero intervenute variazioni dei carichi rispetto a quelli previsti in fase di progetto, quindi in assenza di garanzia sul livello di sicurezza necessario allo svolgimento del regolare servizio. A tal proposito, si segnala l'opera sulla riparazione dei ponti dell'Ing. Gianturco (1937), dove è riportato un accurato studio sul tema del monitoraggio e degli interventi sulle strutture esistenti.

Sebbene sia trascorso quasi un secolo, l'argomento appare ancor oggi di sorprendente attualità, in particolare per l'evidente stato di

trascuratezza in cui versano molte infrastrutture, testimoniato dalle sempre più frequenti disposizioni di limitazione di traffico che interessano i nostri ponti e dai crolli che periodicamente richiamano a gran voce l'attenzione dei media su questa problematica. In tale ambito, risulta doveroso citare il crollo del viadotto autostradale sul Polcevera (cd. Ponte Morandi) occorso a Genova nell'agosto 2018, in cui persero la vita oltre 40 persone. Tuttavia, quella testé menzionata è solo una delle numerose strutture da ponte che, in tempi recentissimi, hanno subito dissesti strutturali o crolli, provocando vittime e feriti oltre che disagi alla rete stradale. Le cause di tali dissesti sono molteplici e svariate e vanno da problemi di natura strutturale, come nel caso del viadotto crollato a Fossano (CN) nell'aprile 2017, ad errori in fase di esecuzione di lavori, come nel caso del cavalcavia sull'A14 in provincia di Ancona crollato nel marzo 2017, e

ancora da eventi ambientali, come nel caso del viadotto Himera sull'autostrada A19 Palermo Catania (aprile 2015), a eccessivi carichi verticali, come nel caso del cavalcavia Annone in provincia di Lecco che crollò nell'ottobre 2016 in seguito al passaggio di un tir da oltre 108 tonnellate.

Al fine di limitare tali inconvenienti, oltre alle molteplici cognizioni scientifiche e tecniche indispensabili per l'approccio alla corretta redazione di un intervento su un manufatto esistente, un ruolo particolarmente importante è rivestito dalla conoscenza delle ipotesi di progetto che ne hanno guidato la realizzazione; tra queste, l'entità delle azioni per il quale il ponte è stato concepito.

La conoscenza dell'evoluzione normativa e delle soluzioni strutturali e costruttive adottate nelle diverse epoche, per far fronte alle crescenti esigenze prestazionali, è evidentemente uno degli aspetti fondamentali nell'analisi delle condizioni attuali di sicurezza delle reti dei ponti esistenti, esigenza quanto mai attuale non solo in Italia. Risulta peraltro subito evidente come, qualora si fosse chiamati allo studio di un'opera esistente secondo le disposizioni dell'attuale normativa, vi sia un'alta probabilità che tale verifica non restituisca esito positivo proprio per la rapida evoluzione normativa avvenuta in pochi decenni (De Matteis et al. 2019).

Appare chiaro, quindi, come in un periodo in cui le esigenze di manutenzione dei ponti è diventata ormai una drammatica necessità, la conoscenza e l'analisi dell'evoluzione delle indicazioni normative e, in particolare, dei carichi da traffico sia di fondamentale importanza nell'analisi dei manufatti esistenti ai fini della valutazione della loro sicurezza e della progettazione degli eventuali interventi di manutenzione necessari.

Sulla base di questa ampia premessa, nel presente lavoro, oltre a richiamare una sintesi dell'evoluzione di tali norme, soffermando l'attenzione sugli aspetti peculiari che le hanno contraddistinte e caratterizzate, è sviluppato uno studio parametrico per definire aprioristicamente le sollecitazioni con cui le strutture venivano progettate. Tali risultati, facendo riferimento allo schema statico di trave in semplice appoggio, sono quindi messi a confronto con gli analoghi valori determinati in accordo con le norme attuali. La scelta del particolare schema statico, oltre ad essere ricorrente nelle strutture di calcestruzzo armato sia normale sia precompresso, consente di

effettuare una comparazione tra diverse geometrie del ponte, ottenute variando le dimensioni caratteristiche, luce libera e larghezza della sede stradale. Per ciascuna configurazione presa a riferimento, sono quindi riportate, per le varie disposizioni normative, le variazioni degli effetti sulla struttura associate ai carichi da traffico definiti dalle diverse normative.

2 GLI APPROCCI PROGETTUALI IN ASSENZA DI SPECIFICHE NORME

Come si può leggere nell'opera di Jorini (1927), se per i ponti di piccole dimensioni e di tipo usuale bastavano all'epoca le varie nozioni empiriche dettate dalla lunga esperienza dei tecnici progettisti, per lo studio di ponti in condizioni eccezionali o per portata o per sovraccarichi o per la singolarità dello schema adottato, era diventato invece necessario il sussidio della scienza delle costruzioni, senza la quale non sarebbe stato possibile comprendere il vero impegno statico di ogni singola membratura e quindi sarebbe mancata la base concreta per determinarne le dimensioni.

Nasceva, quindi, la necessità di definire in modo sufficientemente rappresentativo l'entità delle azioni sia permanentemente portate sia di carattere temporaneo agenti sui manufatti. Mentre per le prime il tutto si risolveva nel porre particolare cura al computo degli elementi costituenti il ponte, per le seconde interveniva la difficoltà di prevedere, con sufficiente approssimazione, l'entità dei carichi accidentali che avrebbero potuto agire sulla struttura negli anni a seguire: azioni sia ambientali che antropiche.

Quest'ultimo aspetto è quello che nel corso degli anni ha subito un'intensa evoluzione, non solo per le maggiori capacità di analisi acquisite per la determinazione, sotto il profilo probabilistico, delle azioni, ma soprattutto per l'evoluzione sia della tipologia sia dell'intensità della circolazione stradale, arrivata ad assumere livelli che vanno ben oltre le ragionevoli previsioni di un secolo fa.

La situazione risultava in evoluzione anche negli altri paesi; la Francia, all'avanguardia nella progettazione e realizzazione delle strutture, o la Germania, ad esempio, seguivano indicazioni che, sebbene non coincidessero nei valori, erano simili a quelle presenti in Italia.

Le ragioni di un tale approccio vanno ricercate essenzialmente nel fatto che mentre ai nostri giorni

il carico da traffico ha un ruolo fondamentale nella concezione e nella progettazione dei ponti, nel corso del tempo non sempre esso ha avuto la stessa importanza.

Le mirabili opere in pietra con le quali i romani impressero i segni della loro potenza, i caratteristici ponti del Medioevo così come le eleganti strutture del Rinascimento, sia per il peso proprio sia per la tipologia dei carichi che erano destinate a sostenere, così come per l'impossibilità da parte dei progettisti dell'epoca di risolvere con semplicità problemi di ordine statico, venivano concepiti con l'intento principale che l'opera fosse in grado di sostenere se stessa, considerando il carico di servizio come un'azione di poco conto, ovvero un parametro trascurabile nell'impostazione del progetto.

Solo a partire della metà del diciannovesimo secolo, l'evoluzione dei sistemi costruttivi abbinati allo sviluppo e all'applicazione dei materiali moderni dotati di elevate resistenze, come quelli metallici e il cemento armato, hanno consentito una trasformazione profonda nella concezione strutturale, conducendo a opere leggere e slanciate, ribaltando l'incidenza dei carichi di vario tipo sulle caratteristiche di sollecitazione agenti sulle opere da ponte, imponendo così ai carichi da traffico un ruolo decisivo nel loro dimensionamento.

In una relazione del 1866 (Re 1993), a presentazione di quello che può essere considerato un ardito ponte sospeso dell'epoca, il progettista Giuseppe Antonini, per il dimensionamento della struttura di oltre 60 metri di luce da realizzarsi nel comune di Morca in Valsesia, così descrive e giustifica l'entità delle azioni messe in conto per il dimensionamento delle strutture *“Ma è a d'uopo da riflettere che il ponte deve servire a strada mulattiera, e perciò anche al passaggio delle bovine e delle mandrie. Ora questo passaggio del bestiame pel caso d'un ponte pensile si deve ritenere quasi equivalente nei suoi effetti al transito degli ordinari veicoli che percorrono le strade carreggiabili, perché oltre al peso del effettivo del bestiame devesi calcolare l'azione dinamica prodotta dai loro moti composti o in cadenza, del loro eventuale agglomerato su di una parte del ponte, dalla caduta di un carico sul tavolato, o da altri simili casi”*. Ciò dimostra come il progettista fosse chiamato a dover dar conto della reale esigenza che l'opera richiedeva piuttosto che di rigide prescrizioni normative. Inoltre, sempre dal testo precedentemente richiamato, si ha la percezione di come iniziasse a

farsi strada l'idea che per i carichi di tipo accidentale gravanti sui ponti dovesse esser preso in considerazione il loro effetto dinamico.

Ancora nel 1921, in un testo di comprovata validità per l'epoca, tradotto in italiano dall'omonimo libro molto popolare in Germania (Foerster 1921), si riporta come per ogni tipo di strada si debba esaminare, *“quale dei carichi possibili, normalmente circolanti, siano i più pericolosi per la parte di sovrastruttura considerata”*; nel prosieguo, l'autore indica semplici schemi di carico, distinti in “compressori stradali” e “veicoli”, attribuendo la scelta degli uni o degli altri all'arbitrio delle varie amministrazioni. Tale manuale, nonostante abbia rappresentato uno tra i primi riferimenti per i progettisti di inizio secolo scorso, dà una descrizione sommaria del problema. Considerazioni dello stesso ordine valgono per *“Teoria e pratica della costruzione dei ponti in legno in ferro in muratura”* sviluppato da Jorini (1927), dove, fondamentalmente, si conferma come nel calcolo si debba mettere in conto *“i più pesanti veicoli ammessi al transito sul ponte”*. Dello stesso avviso anche l'autorevole testo che Albenga (1930) scrisse alcuni anni più tardi, nel quale il carico da traffico è definito come un'azione *“variabile da località a località”* e viene osservato come non sempre si riesca a prevederlo con la dovuta precisione, tant'è che il progettista è tenuto ad *“avere una visione piuttosto larga nello stabilire i carichi che la struttura dovrà sorreggere con sicurezza.”* Ad ogni modo, al fine di agevolare il lavoro dei progettisti, anche lo stesso Albenga indica particolari schemi di carico, senza peraltro dare indicazioni circa la possibile concomitanza di veicoli sulla sovrastruttura o la loro particolare distribuzione.

Una casistica, piuttosto ampia e ben articolata del comune modo di procedere dei progettisti all'inizio del secolo scorso, si può ritrovare negli esempi riportati nell'opera di Santarella e Miozzi (1924) dedicata a una serie di strutture in cemento armato realizzate in Italia; nella loro descrizione sono presentate e descritte anche le varie tipologie di carico da traffico messe in conto durante la progettazione.

Situazioni simili si presentano negli altri stati che dominano la scena politica europea di inizio '900. Al fine di comprendere come mancasse completamente un quadro di riferimento consolidato, può essere interessante riportare (Tabella 1) quanto varie Amministrazioni

indicassero in termini di azioni per unità di superficie da considerare per il carico indotto dalla folla, azione alla quale veniva spesso assimilato l'effetto prodotto dalla circolazione dei mezzi di

varia natura sulle strade di diversa

Tabella 1. Valori storici dei carichi da folla compatta da mettere in conto nella progettazione dei ponti (Foerster 1921)

Nome dell'Amministrazione	Data della prescrizione	Trave maestre del ponte			Marciapiedi
		I. Classe	II. Classe	III. Classe	
Ministero del Commercio Austriaco	1887	460	400	340	---
Consiglio Federale Svizzero	1892	450	350	250	---
Ferrovie di Stato Sassoni	1895	400	400	400	560
Ferrovie di Stato Prussiane	1899	400	400	400	400
Ferrovie di Stato Bavaresi	1900	360	360	360	560
Ferrovie di Stato di Baden	1903	450	400	350	500

(Valori dei carichi espressi in kg/m^2)

importanza, classificate storicamente in prima, seconda e terza classe, a seconda che si riferissero, rispettivamente, a: strade di grande traffico, quali autostrade, di completamento della rete statale e altre per le quali, data la loro funzione di collegamento, si prevedesse lo sviluppo di un traffico intenso e pesante; strade di medio traffico, quali quelle provinciali, comunali ed altre per le quali si prevedesse un traffico normale; strade di piccolo traffico, quali quelle comunali di allacciamento di frazioni isolate ed altre per le quali si prevedesse un traffico sempre limitato

3 LE TENDENZE COSTRUTTIVE DEL '900

Fino agli inizi del ventesimo secolo, come detto, i carichi da traffico da portare in conto nella progettazione dei ponti non seguivano regole generali di tipo prescrittivo: non esistevano, infatti, norme di settore tali da disciplinare tipologia dei carichi ed entità e distribuzione delle azioni ad essa associate. La committenza aveva facoltà, a seconda dell'importanza della strada cui il ponte era a servizio, di prescrivere i carichi accidentali da considerare; in alternativa, poteva essere lo stesso progettista che, valutata l'entità dei carichi al quale il ponte avrebbe dovuto resistere, a formulare opportune ipotesi di calcolo.

A surrogare la mancanza di precise indicazioni normative, utili a guidare i tecnici nella scelta dei carichi da utilizzare, trovavano largo impiego alcuni riferimenti bibliografici, talvolta ispirati a usi e indicazioni dei paesi limitrofi.

Ed infatti, varie descrizioni dei carichi accidentali utilizzati per il calcolo dei ponti carrettieri si possono trovare in letteratura. A tal proposito, un testo di comprovata validità nel panorama italiano era rappresentato dell'opera *Ponti Italiani in Cemento Armato* di Santarella e

Miozzi (1924). In particolare, la prima delle tre edizioni di questo insieme di volumi, costituito da un libro di testo e due atlanti, riporta le monografie di cinquantasette ponti, tra i più recenti per quegli anni, costruiti in Italia a seguito della ricostruzione delle opere infrastrutturali demolite o danneggiate dagli eventi della prima guerra mondiale.

In questa epoca, il calcestruzzo acquistò rapidamente una sua autonoma collocazione nel panorama della costruzione dei ponti, prima di trasformarsi nell'innovativo "cemento armato", e come tale, uno scrupoloso imitatore delle strutture murarie; la mancata capacità di resistere a sollecitazioni di trazione lo vide inizialmente impiegato in forme simili a quelle che caratterizzavano gli archi in pietra. Dapprima, l'introduzione dell'armatura non mutò le forme consolidate con le opere murarie, sebbene le strutture acquistassero pian piano forme più slanciate e luci più ampie. Si ebbe quindi un passaggio graduale dalle proporzioni più prossime agli archi murari a quelle proprie del nuovo materiale. Le strutture diventarono progressivamente assottigliate negli elementi orizzontali, con timpani alleggeriti e spessori delle volte e degli archi sempre più sottili. La rigidità e il funzionamento monolitico proprio delle strutture murarie, unitamente alla poca sensibilità alle azioni accidentali, alla buona adattabilità ad ogni tipo e combinazione di sforzi consentirono l'affermazione di questo nuovo materiale nella realizzazione delle strutture, soprattutto nelle configurazioni ad arco, nelle quali predominavano le compressioni e l'armatura sopperiva in modo efficiente per quel poco che serviva alla flessione.

Successivamente, si andò ad affermare una tipologia di ponte a struttura cellulare continua, solidale con l'impalcato e con le spalle, tra le quali spicca per arditezza il Ponte Risorgimento a Roma,

inaugurato nel 1911, con i suoi cento metri di luce (Figura 1).

La nuova tecnica costruttiva, che acquisterà il nome dell'ingegnere che la ideò, sistema Hennebique, ebbe una notevole diffusione in



Figura 1. Il ponte Risorgimento a Roma

quanto, con le sue arcate molto ribassate era in grado di conferire alla struttura una leggerezza sorprendente per l'epoca. Si passa quindi a soluzioni combinate dove la travata è resa solidale a una volta leggerissima, tipo Maillart.

Al tempo stesso, seguendo l'impostazione strutturale dei ponti metallici, si diffusero anche le strutture ad arco a impalcato sospeso, a via inferiore o a via intermedia.

Intorno agli anni '20, inoltre, fecero la loro comparsa anche le strutture a travata reticolare di calcestruzzo armato; si trattava di mere imitazioni di ponti in struttura metallica, nelle quali il calcestruzzo interveniva principalmente come semplice mezzo di rivestimento. L'applicazione più estesa e razionale delle travi di calcestruzzo armato si ebbe dove queste si poterono sviluppare interamente al disotto del piano stradale. Ponti di questo tipo, generalmente di piccola luce, si diffusero rapidamente e dettero luogo a moltissime realizzazioni. Una descrizione dettagliata dello sviluppo delle forme e delle caratteristiche geometriche dei ponti fino agli anni '30 del secolo scorso è riportata nella memoria di Santarella "Arte e Tecnica nella evoluzione dei ponti" (Santarella 1933).

È d'uopo inoltre menzionare che l'evoluzione delle norme ha seguito da vicino sia le vicissitudini storiche, con l'avvento della guerra e l'esigenza di ricostruire le infrastrutture in modo rapido ed economico, sia l'evoluzione della tecnica delle costruzioni, con i suoi riflessi nel campo della realizzazione dei ponti, passando dal

funzionamento monolitico proprio delle strutture murarie, per i quali l'entità dei pesi propri risulta dominante, alla snellezza e leggerezza delle strutture di calcestruzzo armato ed acciaio, per i quali, invece, la conoscenza dei carichi da traffico assume un ruolo determinante.

4 EVOLUZIONE NORMATIVA E CARICHI DA TRAFFICO

Nel panorama nazionale, i primi cenni di regolamentazione legislativa in tema di carichi da adottarsi per strutture da ponte comparvero nel 1925. In particolare, limitatamente alle opere sovrastanti le strade ferrate, la Circolare del 30.06.1925 per i carichi ferroviari prescriveva che i sovraccarichi dovessero rispondere alle condizioni più sfavorevoli che si potessero verificare, sia allo stato attuale sia nel prossimo futuro, in relazione alla natura e all'uso delle opere stesse, fossero esse destinate a dar continuità a strade ordinarie, a tranvie, a ferrovie private, a corsi d'acqua, e così via (Ministero dei Lavori Pubblici 1925). Per il calcolo delle membrature principali costituenti i cavalcavia di una strada ordinaria, la circolare sopra richiamata indicava di assumere come azione di progetto un carico uniformemente ripartito di 500 kg/m^2 , inclusi i marciapiedi, qualora di trattasse di strada di grande traffico, valore che veniva ridotto a 400 kg/m^2 nel caso di strade a traffico limitato o passerelle pedonali. Per il dimensionamento sia delle travi principali, qualora ne risultassero sforzi più elevati, sia delle travi trasversali si ricorreva inoltre a schemi di sovraccarichi formati da carri con i relativi animali da tiro disposti in tante file parallele quante ne potevano entrare sulle corsie di marcia o da un rullo compressore stradale.

Tuttavia, solo dagli anni '30, mantenendo inalterato il concetto di diversificare i carichi in funzione del tipo di strada, iniziò la redazione di vere e proprie norme sui carichi da ponte che concentravano la propria attenzione sull'entità dei carichi da mettere in gioco e sulla loro disposizione, sia in senso trasversale sia longitudinale.

Fatto salvo dunque il primo riferimento normativo succitato, è il 1933 l'anno che segnò per l'Italia l'inizio di una nuova epoca. Il 15 settembre, infatti, il Ministero dei Lavori Pubblici (1933), con la Normale N. 8, disciplinò in modo autonomo i "Carichi da considerare nel calcolo dei ponti per strade ordinarie". Essa confermava la suddivisione

delle strade in tre categorie, di grande, medio e piccolo traffico, premettendo che i carichi indicati erano da riferirsi a vie che permettano al massimo il passaggio simultaneo di due file di autoveicoli, lasciandone quindi al progettista l'estensione quando la larghezza in gioco ne ammettesse un numero maggiore, come si veniva a verificare, generalmente, nei ponti di città. La norma, al fine di distinguere in ordine decrescente l'impegno statico del ponte nei confronti delle azioni da traffico, elencava opportune combinazioni di carico per ogni tipo di strada, ottenute dalla sovrapposizione di opportuni schemi tesi a riprodurre i veicoli di maggior peso transitanti sulle infrastrutture. In Figura 2 sono riportati gli schemi tipo.

Con riferimento ad essi, i ponti per le strade di primo tipo dovevano mettere in conto la peggiore delle configurazioni ottenute: da due colonne affiancate e indefinite di autocarri del peso di 12 tonnellate (schema I di Figura 2) con l'aggiunta di folla compatta da 400 kg/m^2 sui marciapiedi; da una colonna indefinita di autocarri da 12 tonnellate (schema I di Figura 2) con affiancato un treno di veicoli indicato nello schema II di Figura 2, nonché la medesima folla compatta sui marciapiedi; la sola folla compatta estesa a tutta la larghezza del ponte.

Il rullo indicato nello schema III di Figura 2, invece, era riservato al calcolo delle solette e delle nervature secondarie dell'impalcato, qualora le sollecitazioni che ne derivassero fossero più penalizzanti rispetto a quelle associate ai carichi precedentemente elencati.

Per le strade di tipo due, invece, la seconda disposizione era sostituita da un treno tipo di autocarri da 12 tonnellate (schema I di Figura 2) e una colonna formata da due rulli compressori da 18 tonnellate (schema III di Figura 2) affiancati, con la folla compatta estesa all'area non occupata dai veicoli; veniva inoltre introdotta un'ulteriore disposizione di carico sempre formata da una colonna di due rulli compressori da 18 tonnellate (schema III di Figura 2) affiancati e, contemporaneamente, folla compatta sull'area non occupata dai rulli. Per le strade di tipo tre, infine, erano leggermente variate le disposizioni sopra richiamate, nell'ottica di un minor impegno della struttura. Interessante osservare come, sempre la stessa norma, indicasse la possibilità di considerare carichi di tipo alternativo per i ponti

massicci ad arco; indipendentemente dal tipo di strada; per essi era prescritto un carico uniformemente ripartito pari a 800 kg/m^2 da applicare sulla carreggiata e di intensità pari alla metà sui marciapiedi. La Normale N. 8 inoltre, volendo far chiarezza su un argomento molto dibattuto per l'epoca, per tutti i carichi e per tutti i ponti, prescriveva un coefficiente amplificativo al fine di mettere in conto le azioni dinamiche, incremento che veniva fissato nella misura del 25% delle azioni da traffico.

La norma, pertanto, costituiva un primo tentativo di omogeneizzazione del modo di operare dei progettisti, determinando così la possibilità di adottare schemi di carico che avessero un consenso di tipo generale.

D'altra parte va segnalato che durante il periodo di applicazione della Normale N. 8, l'Italia, in realtà, visse un periodo di demolizione più che di costruzione, in quanto su tutto il territorio nazionale imperversò la seconda guerra mondiale. A conflitto terminato, lo stesso Ministero dei Lavori Pubblici, in un momento di giustificato ottimismo, comprese la necessità di dar l'avvio a una rapida opera di ricostruzione delle infrastrutture, gravemente colpite dagli eventi bellici, constatando come i ponti calcolati con la precedente norma, come pure altri più antichi dimensionati con carichi ancor minori, si fossero ben comportati anche durante la guerra al passaggio dei pesantissimi carichi militari.

Tra gli anni '40 e gli anni '50, il progetto e l'esecuzione dei ponti stradali subì inoltre l'influenza dei notevoli progressi dell'arte del costruire. Il vasto campo di applicazione, dovuto alla costruzione di un gran numero di strade di sempre maggiore importanza e alla ricostruzione delle opere distrutte dalla guerra, offrì, infatti, grandi possibilità di esperienza ed affinamento sia ai progettisti sia ai costruttori, dovuto essenzialmente al sempre maggiore perfezionamento dei metodi di calcolo nonché ai progressi della tecnologia dei calcestruzzi e all'uso di armature metalliche di sempre migliori caratteristiche meccaniche.

Per i ponti di calcestruzzo armato a travate rettilinee, le acquisizioni e i perfezionamenti sopra elencati determinarono la possibilità di realizzazioni sempre più importanti, in particolare, nel caso di luci multiple, la diffusione

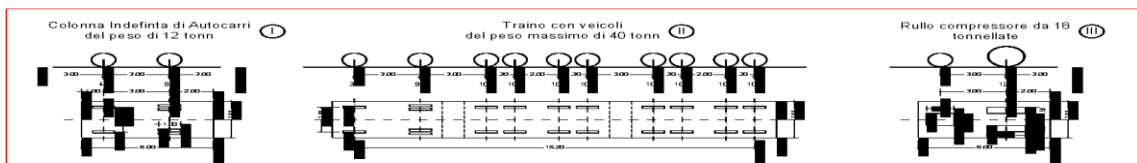


Figura 2. Normale N. 8 del '33: schemi di carico

dello schema di trave tipo Gerber, soprattutto per i vantaggi che queste offrivano in caso di fondazioni difficili. Successivamente, si affermarono le strutture in calcestruzzo armato precompresso e, con esse, le strutture a travata in semplice appoggio o continue, largamente utilizzate negli ultimi decenni a fianco di soluzioni di acciaio o composte acciaio-calcestruzzo, soprattutto per luci libere più elevate.

Tornando alla storia della evoluzione normativa, il 6 giugno 1945 il Ministero dei Lavori Pubblici (1945) emanò la circolare n.6018, completata dalla Circolare 772 dell'anno successivo (Ministero dei Lavori Pubblici 1946), che snelliva i carichi di progetto, riconducendo le strade a solo due tipi: quelle di grande traffico e le strade di medio e piccolo traffico. Mantenendo validi gli schemi di carico I e III di Figura 2 già presenti nella norma precedente, definì le seguenti disposizioni per le strade di tipo 1: da due o più colonne affiancate e indefinite di autocarri del peso di 12 tonnellate (schema I di Figura 2) con l'aggiunta di folla compatta da 400 kg/m^2 sui marciapiedi; due rulli compressori da 18 tonnellate (schema III di Figura 2) affiancati e ancora il contributo della folla compatta sui marciapiedi. Anche in questo caso, per i ponti di tipo due, i carichi di esercizio trovavano impiego in forma mitigata.

Coerentemente con la norma precedente, per i ponti massicci ad arco i carichi da traffico erano semplificati, per ogni tipo di strada, da un carico uniformemente ripartito q su tutta la larghezza della carreggiata di intensità variabile in funzione della luce secondo una legge espressa dall'Equazione (1), dove L rappresenta la luce dell'arco.

$$q = (800 - 4 \cdot L) \quad (1)$$

Di contro veniva articolato in modo diverso il coefficiente di amplificazione dinamico φ , il quale

veniva determinato anch'esso in funzione della luce della struttura L , secondo la formulazione di Equazione (2).

$$\varphi = 1 + \frac{16}{L + 40} \quad (2)$$

Non molti anni più tardi, su intervento dell'Autorità Militare, l'ANAS con la circolare n. 820 del 15 marzo 1952, valutata l'esiguità delle azioni da traffico messe in conto con la normativa vigente, che tra l'altro avevano resi necessari rinforzi delle opere d'arte lungo le vie percorse dai carri militari o da trasporti pesanti soprattutto di materiale elettrico, introdusse per le strade statali, includendo in queste anche le autostrade, l'applicazione di nuovi schemi di carico (Ispettorato tecnico dell' A.N.A.S. 1952). In particolare, doveva essere messa in conto la condizione più gravosa tra le due combinazioni che rappresentavano le condizioni di carico normali: un treno indefinito di carichi identificati dallo schema I di Figura 3 affiancato a uno o più treni di autocarri da 12 t, già riportati dalla Normale N. 8 del '33, e folla compatta sui marciapiedi (400 kg/m^2); un treno indefinito di carichi specificati dallo schema II di Figura 3 affiancato ancora a uno o più treni dei soliti autocarri da 12 t e folla compatta sui marciapiedi. Era anche definita una condizione eccezionale come un carico isolato riportato dallo schema III di Figura 3 affiancato a uno o più treni di autocarri da 12 t come sopra indicati e folla compatta sui marciapiedi.

Per le carreggiate da 7 a 9 m di larghezza dovevano invece considerarsi applicati i carichi costituiti da una colonna come indicata dai tre schemi precedentemente richiamati affiancata a una sola colonna indefinita di autocarri da 12 t, oltre alla folla compatta sui marciapiedi. Per le strade non statali, invece, tutto rimaneva invariato.

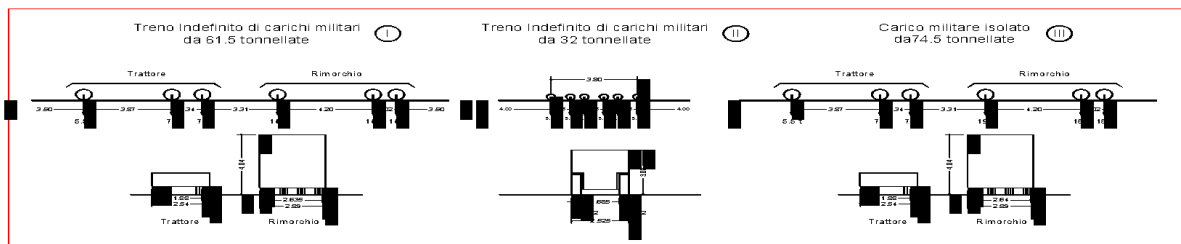


Figura 3. Circolare n. 820 del '52: schemi di carico

Si iniziò a sopperire, quindi, alla sensazione di aver ecceduto troppo nella diminuzione dei carichi di progetto, conducendo a stime, per le azioni da traffico, tali da non garantire i dovuti margini di sicurezza per le opere di tipo infrastrutturale.

Circa dieci anni più tardi, il Ministero dei Lavori Pubblici (1962), al fine di normalizzare la situazione piuttosto confusa che si era venuta a creare, emanò la circolare n. 384 del 14 febbraio. Le strade, ancora suddivise in due categorie, erano classificate in modo diverso da quanto fatto precedentemente. In particolare, si avevano strade di 1° Categoria, destinate al transito di carichi civili e militari, e di 2° Categoria, se destinate al transito dei soli carichi civili, ovvero, strade di interesse locale o vicinale. Per le prime, veniva prescritto di adottare lo schema più gravoso tra quelli precedentemente richiamati dagli schemi 1, 2 e 3 della circolare n. 820 del '52 affiancati da una o più colonne di autocarri da 12 t e, ancora, folla compatta da 400 kg/m² sui marciapiedi. Inoltre, detta normale stabiliva la larghezza d'ingombro trasversale dei vari schemi, pari a 3 metri per la colonna di autocarri da 12 t e 3,5 metri per gli schemi 1, 2, e 3 sopra richiamati.

Nella nuova norma, ad eccezione dei pochi ponti con luce superiore ai 100 metri, il coefficiente φ da mettere in conto per valutare il contributo delle azioni dinamiche veniva determinato, in funzione della luce teorica del manufatto L , secondo la formulazione di Equazione (3).

$$\varphi = 1 + \frac{(100 - L)^2}{100 \cdot (250 - L)} \quad (3)$$

Se si trascura la circolare n. 7091 del 4 novembre emanata dal Ministero dei Lavori Pubblici (1970), nella quale oltre a confermare le

disposizioni di carico previste della precedente normativa venivano date alcune specifiche condizioni di calcolo per il dimensionamento di dettaglio delle strutture di acciaio, il successivo contributo all'evoluzione della norma si ebbe con il D.M. del 2 agosto 1980 (Ministero dei Lavori Pubblici 1980). L'importanza del provvedimento fu soprattutto incentrata sull'introduzione dei cosiddetti carichi convenzionali, ovvero configurazioni di azioni concentrate e distribuite il cui intento non era rappresentare in modo fedele le reali azioni che avrebbero potuto impegnare la struttura durante la sua vita di servizio, bensì in grado di riprodurre all'interno del manufatto un quadro di sollecitazioni equivalente a quelle in grado di estremo e reali. I ponti tornarono ad essere suddivisi, similmente a quanto previsto dalla norma del 1945 (Ministero dei Lavori Pubblici 1945), in tre categorie, proprio in funzione della diversa tipologia di carico messa in conto nella progettazione del manufatto, a sua volta dettata dall'importanza che la strada rivestiva. In particolare, per i ponti di prima categoria si dovevano mettere in conto una colonna di carichi q_{1A} e una colonna di carichi q_{1B} , posta una larghezza convenzionale della corsia pari a 3,5 metri, così come definite rispettivamente in Equazione (4) e (5) in funzione della lunghezza espressa in metri della stesa di carico L .

$$\begin{aligned} q_{1A} &= 2,89 + 52/L && \text{per } L \leq 40 \text{ m} \\ q_{1A} &= 4,35 - L/250 && \text{per } 40 \text{ m} \leq L \leq 400 \text{ m} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} q_{1A} &= 2,75 && \text{per } L > 400 \text{ m} \\ q_{1B} &= 0,40 + 27/L && \text{per } L \leq 15 \text{ m} \\ q_{1B} &= 2,23 - L/500 && \text{per } 15 \text{ m} < L \leq 400 \text{ m} \end{aligned} \quad (5)$$

$$q_{1B} = 1,43 \quad \text{per } L > 400 \text{ m}$$

Contestualmente a tali stese di carico veniva tenuto conto di un carico $q_{1F} = 400 \text{ Kg/m}^2$ sui marciapiedi.

Tuttavia, qualora fossero più penalizzanti, in luogo del carico q_{1A} veniva considerato il carico q_{1C} , così come definito in Figura 4.

Inoltre, in caso di significativa larghezza della sede stradale, si teneva conto di ulteriori colonne di carico, q_{1B} , compatibili con la larghezza della carreggiata, di intensità ridotta del 30%. A tal proposito, la norma precisa che la larghezza della carreggiata doveva essere comprensiva delle eventuali banchine di rispetto e sosta di emergenza, nonché gli eventuali marciapiedi non protetti di altezza inferiore a 20 cm. In ogni caso, il numero delle colonne non doveva essere inferiore a due, a meno che la larghezza della sede stradale non fosse inferiore a 5 metri.

Per tener inoltre conto degli effetti dinamici, i carichi dovevano esser quindi ancora amplificati

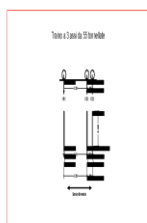


Figura 4. DM 2.08.1980 - Schema di carico q_{1C}

per un coefficiente ϕ , in questo caso definito in funzione del rapporto tra il carico permanente e quello mobile g/q e della lunghezza delle stese di carico prese in esame per la verifica L , secondo la formulazione di Equazione (6).

$$\phi = 1,4 - 0,002 \cdot (g/q + 1) \cdot L \quad (6)$$

Dieci anni più tardi, il 4 maggio del 1990, il Ministero dei Lavori Pubblici emanò un nuovo decreto ministeriale per l'aggiornamento delle norme, confermando l'impostazione della precedente norma in merito al concetto di carico convenzionale (Ministero dei Lavori Pubblici 1990). Anche in questo caso la norma prevedeva la suddivisione delle strade in tre differenti categorie, definite in questo caso in funzione dell'entità del carico mobile sopportabile. In particolare per ponti di prima categoria venivano considerati carichi mobili con il loro intero valore, mentre ricadevano in strutture di seconda e terza categoria ponti progettati rispettivamente con carichi ridotti e passerelle pedonali.

I ponti di prima categoria dovevano quindi essere progettati mettendo in conto:

- una colonna di carico costituita da un solo mezzo convenzionale q_{1a} da 60 t a tre assi, e, al di fuori dell'ingombro di questo, da uno o più tratti di carico q_{1b} disposti, ai fini del calcolo delle strutture principali, lungo l'asse della corsia nella posizione più sfavorevole (Figura 5);
- una colonna di carico analoga alla precedente ma con carichi pari al 50% sia del q_{1a} sia del q_{1b} ;
- altre colonne di carico analoghe alle precedenti ma con carichi pari al 35% sia del q_{1a} sia del q_{1b} ;
- il carico folla di $q_{1e} = 400 \text{ kg/m}^2$ sui marciapiedi.

Anche per la norma del '90, il numero delle colonne non doveva essere inferiore a due, a meno che la larghezza della sede stradale non fosse inferiore a cinque metri e mezzo.

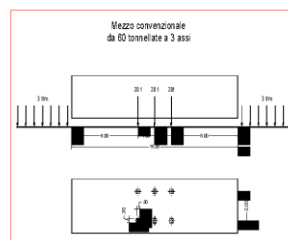


Figura 5. DM 4.05.1990 - Schema di carico q_{1a} e q_{1b}

Qualora la larghezza della suddetta carreggiata dovesse contenere, invece, più di quattro colonne di 3,5 m, in luogo di una singola colonna formata dall'abbinamento q_{1a} e q_{1b} si dovevano inserire due colonne di questo tipo in posizione non attigua.

La norma, inoltre, definiva il coefficiente di amplificazione dinamica ϕ anche in questo caso in funzione della luce della struttura L secondo la formulazione di Equazione (7), con le limitazioni di $\phi=1,4$ per $L \leq 10 \text{ m}$ e $\phi=1,4$ per $L \geq 70 \text{ m}$.

$$\phi = 1,4 + \frac{L-10}{150} \quad (7)$$

Anche sull'onda dello sviluppo degli Eurocodici (EN1991-2 2003), al fine di uniformare i carichi con i paesi limitrofi, sempre facendo riferimento alle tre categorie introdotte

dalle normative immediatamente precedenti, nel 2005 furono emanate dal Ministero delle Infrastrutture la nuova edizione delle Norme Tecniche sulle Costruzioni ridefinendo gli schemi di carico (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2005). Questi richiedevano un'opportuna distribuzione sulla larghezza del ponte ed erano rimodulati in funzione della categoria, rimaneva invece invariato il valore del coefficiente di amplificazione dovuto agli effetti dinamici.

Con riferimento a corsie convenzionali di larghezza pari a tre metri e ponendo un numero di colonne non inferiore a due, a meno che la larghezza complessiva della carreggiata non fosse inferiore a 5,40 m, per i ponti di prima categoria si dovevano considerare, secondo disposizioni come riportate nella Figura 6, le intensità dei carichi riportate in Tabella 2.

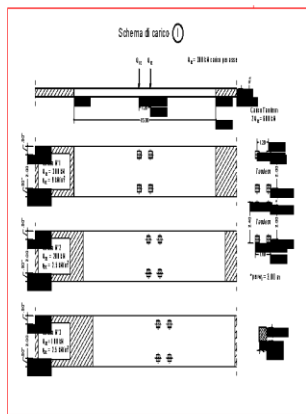


Figura 6. Norme Tecniche per Costruzioni 2005 – Schema di carico 1

Posizione	Carico Asse Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m ²]
Corsia N.1	300	9,00
Corsia N.2	200	2,50
Corsia N.3	100	2,50
Altre Corsie	0	2,50

Il coefficiente dinamico fu invece implicitamente messo in conto nell'intensità delle azioni variabili nelle più recenti Norme Tecniche per le Costruzioni emanate nel 2008 (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2008); in esse, pur rimanendo la distinzione delle tre categorie di ponti, venivano definiti nuovi schemi di carico, con le loro distribuzioni e le rispettive combinazioni di progetto.

La Figura 7 ne riporta uno schema riepilogativo, sia in termini di distribuzioni che di combinazioni.

L'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, infine, attualmente in vigore, emanate dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti nel 2018, riprendono quasi integralmente il contenuto della norma del 2008; sono stati, infatti, eliminati i ponti di seconda categoria, lasciando però immutato il resto del quadro normativo (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2018).

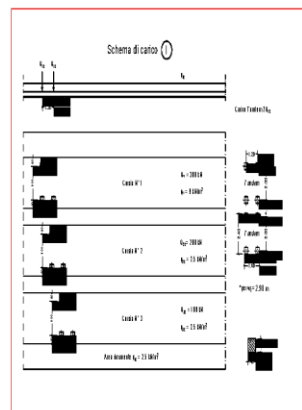


Figura 7. Norme Tecniche per Costruzioni 2008 – Schema di carico 1

5 CONFRONTO TRA LE SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

5.1 Definizione dello studio parametrico

Al fine di confrontare l'influenza dell'evoluzione normativa dei carichi da traffico nella progettazione, è stato sviluppato un primo studio parametrico esaminando gli effetti sulle sollecitazioni di progetto indotte dai soli carichi da traffico. Per la definizione dello studio, si è tenuto conto della natura del patrimonio infrastrutturale italiano, in gran parte realizzato con impalcati in calcestruzzo armato o precompresso, e lunghezze variabili tra 5 e 40 metri.

Pertanto, in questa prima valutazione, sono state esaminate quattro differenti luci di calcolo, rispettivamente, pari a: 5, 10, 20 e 40 m. Contestualmente, sono state considerate quattro diverse larghezze della carreggiata, variandone progressivamente la dimensione da 6 m, tipica per le strade di ordinaria importanza urbane o extraurbane, fino a 22 m, caratteristica per le autostrade a due corsie per senso di marcia.

Nello specifico, sono stati adottati i valori seguenti: 6 m, per strada ad una corsia per senso di marcia, ciascuna di 3 m di larghezza e senza banchina; 8 m, per strada ad una corsia per senso di marcia, ciascuna di 3 m di larghezza con banchine laterali di 1 m; 15 m, per strada a due corsie per senso di marcia, ciascuna di 3 m di larghezza con banchine laterali di 1 m e spartitraffico fisso di larghezza 1 m; 22 m, per autostrada a due corsie per senso di marcia, ciascuna di 3,75 m di larghezza, con corsia di emergenza laterale di 2,5 m e spartitraffico fisso di 2 m larghezza.

Per ciascuno dei 16 impalcati, ottenuti combinando le variabili geometriche in gioco, sono state valutate le sollecitazioni flettenti derivanti dall'applicazione dei carichi riportati nelle varie norme vigenti nelle diverse epoche precedentemente illustrate, ovvero:

- Normale n. 8 del 1933 (Ministero dei Lavori Pubblici 1933);
- Normale n. 6018 del 1945 (Ministero dei Lavori Pubblici 1945);
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 384 del 1962 "Norme relative ai carichi per il calcolo dei ponti stradali" (Ministero dei Lavori Pubblici 1962);
- Decreto Ministeriale n. 308 del 02/08/1980 "Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali" (Ministero dei Lavori Pubblici 1980);
- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 04/05/1990 "Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo dei ponti stradali" (Ministero dei Lavori Pubblici 1990);
- Decreto Ministeriale n. 222 del 14/09/2005 "Norme tecniche per le costruzioni" (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2005);
- Decreto Ministeriale n. 29 del 14/01/2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni" e Decreto Ministeriale n. 43 del 17/01/2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»" (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2008, 2018).

In particolare, si è fatto riferimento alle condizioni di carico previste da ciascuna norma per le strade di I Categoria o, analogamente, di Tipo 1° per quelle antecedenti al 1962, con una disposizione

tale da massimizzare il momento flettente in mezzzeria.

5.2 Ipotesi ed assunzioni

L'evoluzione normativa ampiamente esposta nei paragrafi precedenti pone in evidenza la chiara complessità dello studio. Considerando che le normative antecedenti al 1990 prevedevano l'adozione di diversi schemi di carico, per lo sviluppo dello studio parametrico sono state condotte 184 analisi. A questo riguardo, è utile richiamare alcuni aspetti concernenti le ipotesi assunte alla base nel presente studio.

Una prima assunzione consiste nell'aver trascurato la presenza dei marciapiedi ai lati della carreggiata, la loro presenza, infatti, da un lato non incide significativamente sui risultati dell'analisi mentre dall'altro complica considerevolmente le analisi; infatti, mentre l'attuale approccio prevede la suddivisione della carreggiata in "corsie", dove vengono applicati i carichi da traffico, "aree rimanti, "marciapiedi" o "piste ciclabili" ", dove viene messo in conto un carico di 2.5 kN/m², gli approcci precedenti consideravano esclusivamente carichi corrispondenti a "folla compatta", in ragione di 400-500 Kg/m², solo in presenza di marciapiede, ovvero di una specifica area di transito destinata al traffico ciclo-pedonale.

Nelle analisi condotte, sono stati inoltre considerati i coefficienti amplificativi dovuti agli effetti dinamici del carico, così come definiti per ciascuna norma. Con riferimento alla normativa del 1980, l'amplificazione dei carichi veniva definita in funzione del rapporto tra i carichi permanenti e le azioni da traffico, a tal proposito, al fine di omogenizzare lo studio e rendere comparabili i risultati, si è ipotizzato, sulla base di esempi reali rappresentativi di ponti con impalcato in calcestruzzo armato gettato in opera presenti sul territorio nazionale, di porre un valore approssimativo del rapporto tra carichi permanenti e mobili pari a due. Tale assunzione, inoltre, restituisce un valore dell'incremento dinamico paragonabile a quelli delle altre norme, antecedenti e successive. I valori dei coefficienti amplificativi, riferiti alle diverse norme e ciascuna lunghezza in gioco delle travi, sono riportati in Tabella 3.

Tabella 3. Valore dei coefficienti amplificativi per tener conto degli effetti dinamici del carico mobile, per ciascuna normativa e configurazione geometrica del ponte

Luce			
5 m	10 m	20 m	40 m

1933			1,25	
1945	1.36	1,32	1,27	1.20
1962	1.37	1,34	1,28	1.17
1980	1.38	1,36	1,32	1.24
1990	1.40	1,40	1,33	1.20
2005	1.40	1,40	1,33	1.20
2008-2018			1,00	

Altro aspetto da sottolineare è la mancanza di chiarezza nella norma del '33 per la definizione del carico mobile qualora il ponte sia costituito da più corsie per ogni senso di marcia. In particolare, la predetta norma definiva i vari treni di carico in caso di strada a due corsie, concludendo con *“ovvie risultando le varianti per ponti la cui larghezza ne ammetta un maggior numero, come può verificarsi nei ponti di città [...]”*. Se tali varianti risultano facilmente interpretabili per lo schema di carico di tipo a), ovvero quello costituito da due treni indefiniti di autocarri del peso di 12 tonnellate, non altrettanto può affermarsi nel caso di applicazione dello schema b), che prevedeva una colonna di autocarri da 12 tonnellate su una corsia e un treno di veicoli del peso massimo di 40 tonnellate sull'altra. Va comunque specificato che, considerando il tipo di traffico che interessava le strade a inizio secolo scorso, è improbabile che la norma in oggetto sia stata concretamente utilizzata per progettare ponti con più di una corsia per senso di marcia. In virtù di tali considerazioni, l'analisi associata all'applicazione della Normale N. 8 si è limitata a ponti di larghezza minore o al più uguale a otto metri.

Infine, un altro importante aspetto di cui non si è tenuto conto nello studio è la presenza dei coefficienti parziali di amplificazione del carico previsti dall'approccio semiprobabilistico agli stati limite introdotto nel panorama legislativo italiano nel '96, dunque con riferimento alle norme che regolano i carichi da ponte nel 2005. L'effetto di tali incrementi non è stato introdotto in virtù del differente approccio di verifica in uso precedentemente o successivamente all'introduzione di tale normativa, rispettivamente, associato alle tensioni ammissibili o agli stati limite. Il minor carico proposto dalle norme in assenza dei coefficienti parziali di sicurezza, infatti, era compensato dalle ridotte resistenze del materiale.

5.3 Risultati dello studio parametrico

I risultati dello studio parametrico sono riportati in Tabella 4 e in Figura 8. In particolare, la Tabella 4 riassume, per ciascuna configurazione

geometrica analizzata e per ciascuno schema di carico previsto per ponti di I Categoria (o 1° Tipo), i momenti flettenti massimi nella trave in semplice appoggio associati ai carichi da traffico, valutati dunque al netto dei pesi permanenti. I grafici di Figura 8 mostrano, invece, per ciascuna normativa considerata, il rapporto tra tali sollecitazioni (M_{Ed}) e le sollecitazioni di riferimento valutate in accordo con la norma attualmente vigente (M_{Ed2018}).

Da un'analisi critica dei risultati emerge come per le opere realizzate con le normative più datate, con particolare riferimento a quelle del 1933 e del 1945, e travi di piccola luce le differenze risultano particolarmente significative, con valori del rapporto M_{Ed}/M_{Ed2018} talvolta prossimi a 0,2. Tale rapporto, inoltre, aumenta al crescere della luce e per le Norme più recenti, dal 1980 in poi, assume valori quasi sistematicamente superiori a 0,8. È altresì possibile osservare che la norma attuale fornisce valori di sollecitazione massima simili a quelli delle normative precedenti nei casi studio con ponti di luce pari a 40 m. Di contro, si segnala che la Norma del 2005 offre un andamento opposto, anche in virtù dei coefficienti di amplificazione dinamica del carico, non previsti nella norma attuale e inversamente proporzionali alle luci delle travi nelle norme precedenti.

In merito alla larghezza della sede stradale, lo studio fa emergere come la differenza di sollecitazione risulti influenzata non tanto dalla larghezza vera e propria della carreggiata bensì dal numero effettivo di corsie su di essa presenti.

Sempre l'analisi svolta evidenzia come le norme del 1980 e del 1990 siano quelle che qualitativamente mostrano una più fedele corrispondenza tra le sollecitazioni riferite alla norma vigente e quelle dell'epoca.

Concludendo, da un'attenta analisi dei risultati delle analisi condotte, è possibile evidenziare come gran parte del patrimonio infrastrutturale italiano di minore importanza, ovvero ponti con travi di luci modeste e realizzati antecedentemente al 1980, presentino attualmente un'importante inefficienza nei confronti delle azioni prodotte dai carichi da traffico così come definiti dalla norma vigente. Tali valutazioni, una volta opportunamente estese, considerando ad esempio altri schemi statici, altre configurazioni geometriche e i diversi approcci normativi utili ad effettuare le verifiche di resistenza (e.g. tensioni ammissibili, stati limite ultimi) possono fornire un utile strumento per la valutazione a priori

dell'ipotetica inefficienza che le strutture talvolta presentano nei confronti delle sollecitazioni indotte dai carichi da traffico previsti dalla norma attuale.

Tabella 4. Sollecitazioni flettenti per travi in singolo appoggio ottenute dallo studio parametrico

		Luce			
		5 m	10 m	20 m	40 m
		M_{Ed}	M_{Ed}	M_{Ed}	M_{Ed}
19	l=6m	325	1075	4428	15896
33	l=8m	325	1075	4428	15896
	l=6m	244	832	2584	9648
19	l=8m	244	832	2584	9648
45	l=15m	407	1426	5168	19296
	l=22m	407	1426	5168	19296
	l=6m	593	1194	4335	14464
19	l=8m	593	1194	4335	14464
62	l=15m	798	1917	6942	23882

	l=22m	798	1917	6942	23882
	l=6m	823	1902	5069	15723
19	l=8m	823	1902	5069	15723
80	l=15m	1173	2640	7092	23188
	l=22m	1173	2640	7092	23188
	l=6m	945	2520	5723	14478
19	l=8m	945	2520	5723	14478
90	l=15m	1276	3402	7726	19545
	l=22m	1276	3402	7726	19545
	l=6m	1330	3080	6300	14874
20	l=8m	1330	3080	6300	14874
05	l=15m	1629	3827	8207	19002
	l=22m	1629	3827	8207	19002
20	l=6m	1058	2631	6425	16600
08	l=8m	1073	2694	6675	17600
-	l=15m	1310	3321	8365	19540
18	l=22m	1357	3509	9115	22540

(Valori delle sollecitazioni espressi in kNm)

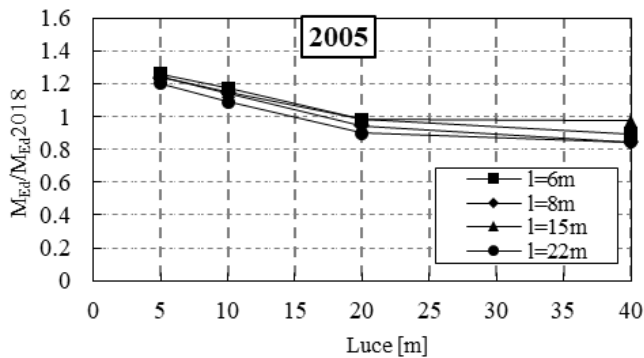
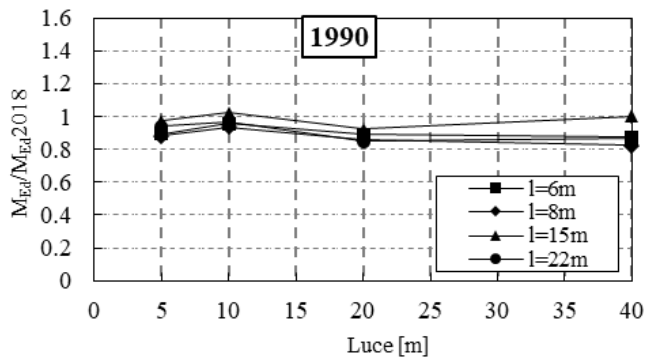
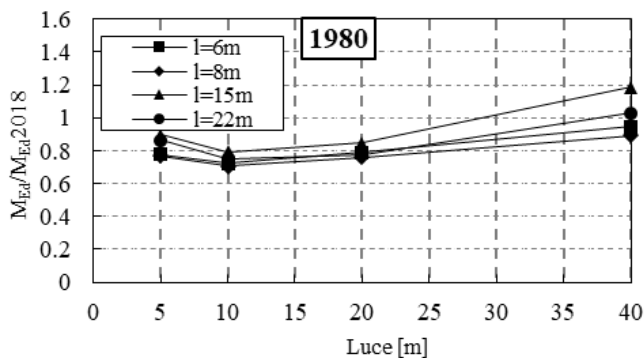
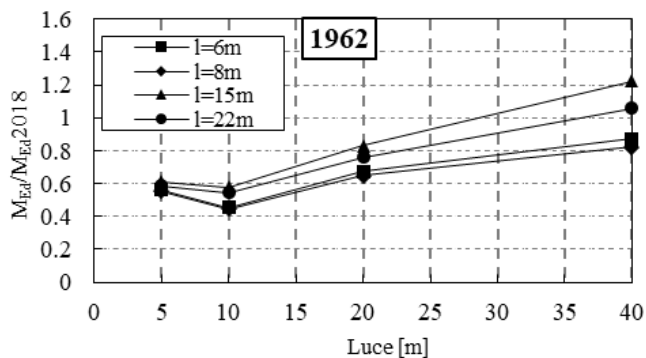
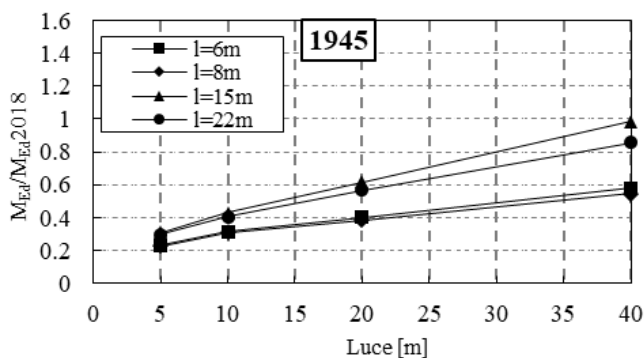
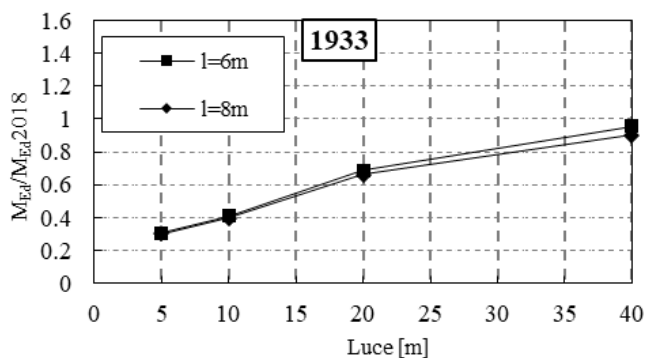


Figura 8. Risultati dell'indagine parametrica

6 CONCLUSIONI

Il panorama articolato delle infrastrutture italiane, e più specificatamente i ponti, è stato generalmente costruito nello scorso secolo, gran parte nel periodo di intensa attività che ha contraddistinto il dopoguerra. L'età da un lato e l'assenza di manutenzione dall'altro ci consegnano oggi un patrimonio piuttosto degradato che, nell'ottica delle recenti norme, richiede un'attenta valutazione nei confronti della sicurezza e, qualora si rendessero necessari interventi di recupero o consolidamento, opportune opere di conservazione e adeguamento. Al fine di poter condurre un accorto quadro conoscitivo del grado di sicurezza delle opere oggi in servizio sulle nostre strade, oltre allo stato di conservazione che le contraddistinguono, diviene importante la conoscenza delle ipotesi alla base della loro realizzazione e, tra queste, i carichi di esercizio messi in conto nelle fasi di progettazione. Nel presente studio, partendo da una disamina delle norme sui carichi da ponte, è stato svolto, specificatamente per le strade di prima categoria, uno studio parametrico al fine di valutare il rapporto tra le sollecitazioni indotte, su una struttura con schema statico di semplice appoggio, dai carichi richiamati dalle varie normative del passato e quelli associati alla normativa attualmente vigente. Dall'esame dei risultati emerge un quadro non sempre confortante, infatti, sebbene a partire dagli anni '80 i risultati delle norme siano piuttosto in linea con quelli attuali, le precedenti, tra l'altro riferibili a un periodo storico di intensa attività nell'ambito della realizzazione delle infrastrutture viarie, forniscono risultati piuttosto preoccupanti, con sollecitazioni indotte sulle strutture spesso inferiori al 50% di quelle correnti.

Sebbene siano chiari i limiti del presente studio, che dovrà essere esteso a schemi statici più articolati e a una maggiore varietà di luci in gioco, la tendenza dei risultati ottenuti consente di delineare interessanti conclusioni e incoraggia allo sviluppo di nuove analisi tese a definire metodologie semplificate per la valutazione dell'efficienza statica dei ponti esistenti.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Albenga, G., 1930. *Lezioni di ponti - Volume Primo - Nozioni generali*. Ed. Unione Tipografico-Editrice Torinese, Torino.
- De Matteis, G., Zizi, M., Del Prete, A., 2019. Structural features of typical Italian bridges built in the '50s: four case studies in the province of Caserta. In *Proceedings of the 7th International Conference Structural Engineering World Congress (SEWC 2019)*. Aprile 24-26. Istanbul, Turchia.
- EN1991-2, 2003. *Eurocode 1: Actions on structures. Part.2: Traffic loads on bridges*. European Committee for standardization, CEN. Bruxelles.
- Foerster, M., 1921. *Manuale del Costruttore - Parte II*. Ed. Vallardi, Milano.
- Gianturco, V., 1937. *Riparazione di ponti. Loro rafforzamento e ricostruzione*. Casa Editrice Dr. Eugenio Jovene, Napoli.
- Ispettorato tecnico dell'A.N.A.S., 1952. *Circolare n.820 del 15.04.1952*.
- Jorini, A.F., 1927. *Teoria e pratica della costruzione dei ponti in legno, in ferro e in muratura*. Ed. Hoepli, Milano.
- Ministero dei Lavori Pubblici, 1925. *Circolare del 30.06.1925. Nuovi sovraccarichi per il calcolo dei ponti in ferro*.
- Ministero dei Lavori Pubblici, 1933. *Normale N.8 - Carichi da considerare nel calcolo dei ponti per strade ordinarie*.
- Ministero dei Lavori Pubblici, 1945. *Circolare n.6018 del 09.06.1945*.
- Ministero dei Lavori Pubblici, 1946. *Circolare n.772 del 12.06.1946*.
- Ministero dei Lavori Pubblici, 1962. *Circolare n.384 del 14.02.1962, Norme relative ai carichi per il calcolo dei ponti stradali*.
- Ministero dei Lavori Pubblici, 1970. *Circolare n.7091 del 4.11.1970, Norme per la progettazione dei ponti stradali in acciaio*.
- Ministero dei Lavori Pubblici, 1980. *D.M. 02.08.1980: Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo dei ponti stradali*.
- Ministero dei Lavori Pubblici, 1990. *D.M. 04.05.1990: Aggiornamento alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e il collaudo di ponti stradali*.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2005. *D.M. 14.09.2005: Norme tecniche per le costruzioni*.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2008. *D.M. 14.01.2008: Norme tecniche per le costruzioni*.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2018. *D.M. 17.01.2018: Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*.
- Re, L. (a cura di), 1993. *Sospesi a dei fili. I ponti pensili dell'Ottocento valsesiano*. Lindau, Torino.
- Santarella, L., 1933. *Arte e tecnica nella evoluzione dei ponti*. Ed. Hoepli, Milano.
- Santarella, L., Miozzi, E., 1924. *Ponti Italiani in cemento armato*. Ed. Hoepli, Milano.