

AZTEC INFORMATICA S.r.l



Schematizzazione dei carichi ferroviari da applicare a ponti e sottopassi

Aspetti applicativi e contesto normativo vigente



Contesto Normativo Vigente



- **D.M. 17 Gennaio 2018 – Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Aggiornamento delle *Norme Tecniche per le Costruzioni***
- **Circolare Ministeriale 21 Gennaio 2019, n° 7 – Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**
- **Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 2: Carichi da traffico sui ponti**
- **Istruzione FS n. I/SC/PS-OM/2298 del 02/06/1995, con relativi aggiornamenti del 13/01/1997, recante “Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari: Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo”**
- **Specifica RFI-DTC-INC-PO-SP-IFS-001-A del 21/12/2011, recante “Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario**




Coefficienti parziali per le azioni

- ▶ I modelli di carico assegnati, sia per i ponti stradali che per i ponti ferroviari, sono modelli ideali, intesi a riprodurre gli effetti del traffico reale caratterizzati da assegnato periodo di ritorno. Essi non sono pertanto rappresentativi di veicoli o convogli reali.
- ▶ Si segnala ancora che i coefficienti parziali di sicurezza relativi ai sovraccarichi da traffico sono minori di quelli pertinenti ad altri sovraccarichi; infatti, il coefficiente γ_Q per le azioni da traffico stradale vale 1,35 per le combinazioni **EQU** e **STR** e 1,15 per la combinazione **GEO**, e il coefficiente γ_Q per le azioni da traffico ferroviario vale 1,45 per le combinazioni **EQU** e **STR** e 1,25 per la combinazione **GEO**.



AZIONI SULLE OPERE

- ▶ Nell'ambito della presente norma sono indicate tutte le azioni che devono essere considerate nella progettazione dei ponti ferroviari, secondo le combinazioni indicate in seguito.
 - ▶ Le azioni definite in questo documento si applicano alle linee ferroviarie a scartamento normale e ridotto.
- 



AZIONI PERMANENTI

- ▶ Le azioni permanenti che devono essere considerate sono: pesi propri, carichi permanenti portati, spinta delle terre, spinte idrauliche, ecc.
- 



Carichi permanenti portati



- ▶ Ove non si eseguano valutazioni più dettagliate, la determinazione dei carichi permanenti portati relativi al peso della massicciata, dell'armamento e della impermeabilizzazione (inclusa la protezione) potrà effettuarsi assumendo, convenzionalmente, per linea in rettilineo, un peso di volume pari a $18,0 \text{ kN/m}^3$ applicato su tutta la larghezza media compresa fra i muretti parabolici, per una altezza media fra piano del ferro (P.F.) ed estradosso impalcato pari a $0,80 \text{ m}$. Per ponti su linee in curva, oltre al peso convenzionale sopra indicato va aggiunto il peso di tutte le parti di massicciata necessarie per realizzare il sovralzato, valutato con la sua reale distribuzione geometrica e con un peso di volume pari a 20 kN/m^3 .
- ▶ Nel caso di armamento senza massicciata devono essere valutati i pesi dei singoli componenti e le relative distribuzioni.
- ▶ Nella progettazione di nuovi ponti ferroviari dovranno essere sempre considerati i pesi, le azioni e gli ingombri associati all'introduzione delle barriere antirumore, anche nei casi in cui non sia originariamente prevista la realizzazione di questo genere di elementi.
- ▶ Sono da considerare tra i carichi permanenti portati anche il peso delle eventuali finiture, il sistema di smaltimento acque, etc..



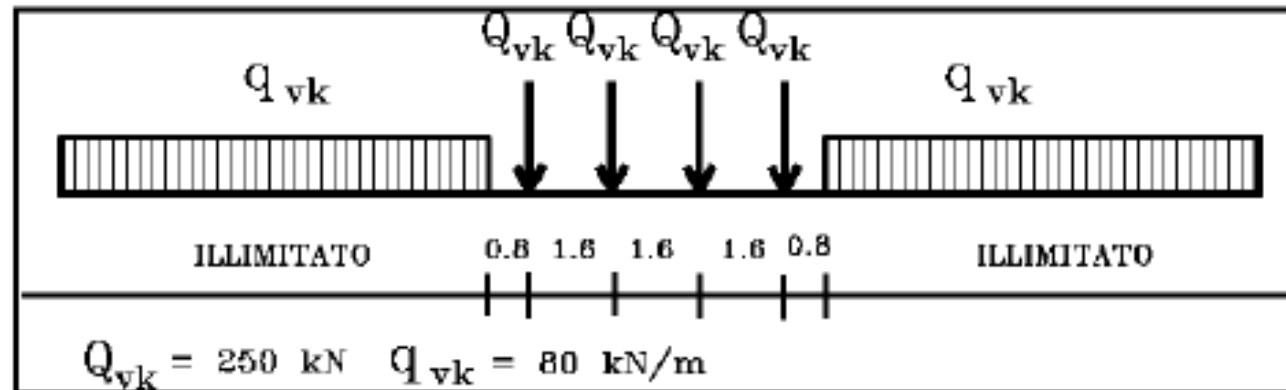
AZIONI VARIABILI VERTICALI

Modelli di carico

- ▶ I carichi verticali associati al transito dei convogli ferroviari sono definiti per mezzo di diversi modelli di carico rappresentativi delle diverse tipologie di traffico ferroviario: normale e pesante.
- ▶ I valori dei suddetti carichi dovranno essere moltiplicati per un coefficiente di adattamento α variabile in ragione della tipologia dell'infrastruttura (ferrovie ordinarie, ferrovie leggere, metropolitane, ecc.). Per le ferrovie ordinarie il valore del coefficiente di adattamento α da adottarsi per i diversi modelli di carico è definito nei relativi paragrafi; per le ferrovie leggere, metropolitane, ecc., il valore del coefficiente α è definito in funzione della specificità dell'infrastruttura stessa. Sono considerate tre tipologie di carico i cui valori caratteristici sono definiti in seguito.
- ▶ Nel seguito, i riferimenti ai modelli di carico LM 71, SW/0 e SW/2 ed alle loro componenti si intendono, in effetti, pari al prodotto dei coefficienti α per i carichi di seguito indicati.

Modello di carico LM 71

- Questo modello di carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale come mostrato nella figura di seguito riportata e risulta costituito da:



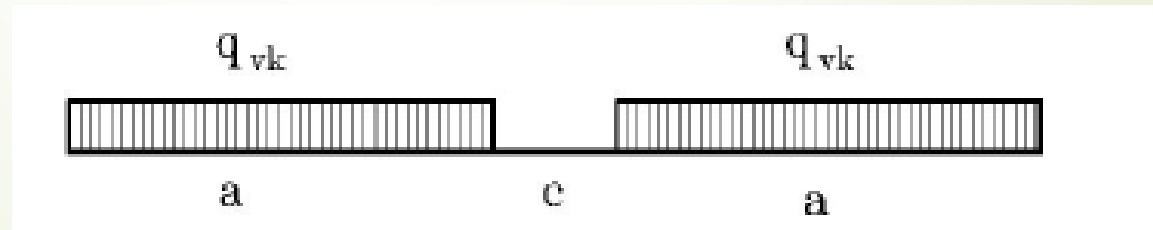
- quattro assi da 250 kN disposti ad interasse di 1,60 m;
- carico distribuito di 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0,8 m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata.

Modello di carico LM 71

- ▶ Per questo modello di carico è prevista una eccentricità del carico rispetto all'asse del binario, dipendente dallo scartamento s , per tenere conto dello spostamento dei carichi; pertanto, essa è indipendente dal tipo di struttura e di armamento. Tale eccentricità è calcolata sulla base del rapporto massimo fra i carichi afferenti a due ruote appartenenti al medesimo asse $QV2/QV1=1,25$, essendo $QV1$ e $QV2$ i carichi verticali delle ruote di un medesimo asse, e risulta quindi pari a $s/18$ con $s= 1435$ mm; questa eccentricità deve essere considerata nella direzione più sfavorevole.
- ▶ Il carico distribuito presente alle estremità del treno tipo LM 71 deve segmentarsi al di sopra dell'opera andando a caricare solo quelle parti che forniscono un incremento del contributo ai fini della verifica dell'elemento per l'effetto considerato.
- ▶ Questa operazione di segmentazione non va effettuata per i successivi modelli di carico SW che devono essere considerati sempre agenti per tutta la loro estensione. Il valore del coefficiente di adattamento α da adottarsi per il modello di carico LM71 nella progettazione di ferrovie ordinarie è pari a 1,1.

Modelli di carico SW

- ▶ Il modello di carico SW è illustrato nella figura di seguito riportata; per tale modello di carico, sono considerate due distinte configurazioni denominate SW/0 ed SW/2.
- ▶ Il modello di carico SW/0 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale per travi continue (esso andrà utilizzato solo per le travi continue qualora più sfavorevole dell'LM71).
- ▶ Il modello di carico SW/2 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.



Modelli di carico SW

- Le caratterizzazioni di entrambe queste configurazioni sono indicate di seguito.

Tipo di Carico	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

- Il valore del coefficiente di adattamento α da adottarsi nella progettazione delle ferrovie ordinarie è pari, rispettivamente, a 1,1 per il modello di carico SW/0 ed a 1,0 per il modello di carico SW/2.




Treno scarico

- ▶ Per alcune particolari verifiche è previsto un ulteriore particolare modello di carico denominato “Treno scarico” rappresentato da un carico uniformemente distribuito pari a 10,0 kN/m.



Carichi sui marciapiedi

- ▶ I marciapiedi non aperti al pubblico possono essere utilizzati solo dal personale autorizzato.
 - ▶ I carichi accidentali devono essere schematizzati da un carico uniformemente ripartito del valore di 10 kN/m^2 . Questo carico non deve considerarsi contemporaneo al transito dei convogli ferroviari e deve essere applicato sopra i marciapiedi in modo da dare luogo agli effetti locali più sfavorevoli.
 - ▶ Per questo tipo di carico distribuito non deve applicarsi l'incremento dinamico.
- 



Effetti dinamici



- ▶ Le sollecitazioni e gli spostamenti determinati sulle strutture del ponte dall'applicazione statica dei modelli di carico debbono essere incrementati per tenere conto della natura dinamica del transito dei convogli.
- ▶ Nella progettazione dei ponti ferroviari gli effetti di amplificazione dinamica dovranno valutarsi nel modo seguente:
- ▶ per le usuali tipologie di ponti e per velocità di percorrenza non superiore a 200 km/h, quando la frequenza propria della struttura ricade all'interno del fuso indicato in Fig. 5.2.7, è sufficiente utilizzare i coefficienti dinamici Φ definiti nel presente paragrafo;
- ▶ per le usuali tipologie di ponti, ove la velocità di percorrenza sia superiore a 200 km/h e quando la frequenza propria della struttura non ricade all'interno del fuso indicato in Fig. 5.2.7 e comunque per le tipologie non convenzionali (ponti strallati, ponti sospesi, ponti di grande luce, ponti metallici difforni dalle tipologie in uso in ambito ferroviario, ecc.) dovrà effettuarsi una analisi dinamica adottando convogli "reali" e parametri di controllo specifici dell'infrastruttura e del tipo di traffico ivi previsto.

Effetti dinamici

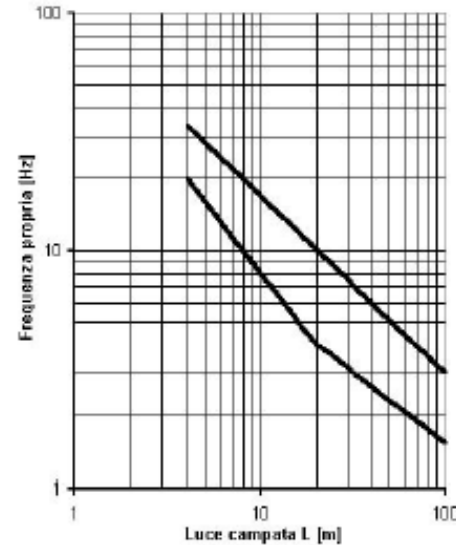


Fig. 5.2.7 - Limiti delle frequenze proprie n_0 in Hz in funzione della luce della campata

In Fig. 5.2.7 il "fuso" è caratterizzato da:

un limite superiore pari a: $n_0 = 94,76 \cdot L^{-0,748}$ [5.2.2]

un limite inferiore pari a: $n_0 = 80/L$ per $4 \text{ m} \leq L \leq 20 \text{ m}$ [5.2.3]

$n_0 = 23,58 \cdot L^{-0,592}$ per $20 \text{ m} \leq L \leq 100 \text{ m}$ [5.2.4]

Per una trave semplicemente appoggiata, sottoposta a flessione, la prima frequenza flessionale può valutarsi con la formula:

$$n_0 = \frac{17,75}{\sqrt{\delta_0}} \text{ [Hz]} \quad [5.2.5]$$

dove: δ_0 rappresenta la freccia, espressa in mm, valutata in mezz'ora e dovuta alle azioni permanenti.

Per ponti in calcestruzzo δ_0 deve calcolarsi impiegando il modulo elastico secante, in accordo con la breve durata del passaggio del treno.

Effetti dinamici

Per ponti in calcestruzzo δ_0 deve calcolarsi impiegando il modulo elastico secante, in accordo con la breve durata del passaggio del treno.

Per travi continue, salvo più precise determinazioni, L è da assumersi pari alla L_Φ definita come di seguito.

I coefficienti di incremento dinamico Φ che aumentano l'intensità dei modelli di carico definiti in 5.2.2.2.1 si assumono pari a Φ_2 o Φ_3 , in dipendenza del livello di manutenzione della linea. In particolare, si assumerà:

(a) per linee con elevato standard manutentivo:

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_2 \leq 1,67 \quad [5.2.6]$$

(b) per linee con ridotto standard manutentivo:

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,73 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00 \quad [5.2.7]$$

dove:

- L_Φ rappresenta la lunghezza "caratteristica" in metri

Effetti dinamici

Nei casi di ponti ad arco o scatolari, con o senza solettone di fondo, aventi copertura "h" maggiore di 1,0 m, il coefficiente dinamico può essere ridotto nella seguente maniera:

$$\Phi_{rid} = \Phi - \frac{h - 1,00}{10} \geq 1,0 \quad [5.2.8]$$

dove h, in metri, è l'altezza della copertura dall'estradosso della struttura alla faccia superiore delle traverse.

Per le strutture dotate di una copertura maggiore di 2,50 m può assumersi un coefficiente di incremento dinamico unitario.

Pile con snellezza $\lambda \leq 30$, spalle, fondazioni, muri di sostegno e spinte del terreno possono essere calcolate assumendo coefficienti dinamici unitari.

Qualora debbano eseguirsi verifiche con treni reali, agli stessi dovranno essere associati coefficienti dinamici reali.



AZIONI VARIABILI ORIZZONTALI

Forza centrifuga

- ▶ Nei ponti ferroviari al di sopra dei quali il binario presenta un tracciato in curva deve essere considerata la forza centrifuga agente su tutta l'estensione del tratto in curva.
- ▶ La forza centrifuga si considera agente verso l'esterno della curva, in direzione orizzontale ed applicata alla quota di 1,80 m al di sopra del P.F..
- ▶ I calcoli si basano sulla massima velocità compatibile con il tracciato della linea. Ove siano considerati gli effetti dei modelli di carico SW, si assumerà una velocità di 100 km/h.
- ▶ Per maggiori dettagli si rimanda al paragrafo 5.2.2.3.1 delle NTC2018.

AZIONI VARIABILI ORIZZONTALI

Serpeggio

- ▶ La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Tale azione si applicherà sia in rettilineo che in curva.
- ▶ Il valore caratteristico di tale forza sarà assunto pari a $Q_{sk} = 100 \text{ kN}$. Tale valore deve essere moltiplicato per a (se $a > 1$), ma non per il coefficiente Φ .
- ▶ Questa forza laterale deve essere sempre combinata con i carichi verticali

AZIONI VARIABILI ORIZZONTALI

Azioni di avviamento e frenatura

- ▶ Le forze di frenatura e di avviamento agiscono sulla sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso. Dette forze sono da considerarsi uniformemente distribuite su una lunghezza di binario L determinata per ottenere l'effetto più gravoso sull'elemento strutturale considerato.
- ▶ I valori caratteristici da considerare sono i seguenti:
- ▶ avviamento: $Q_{la,k} = 33 \text{ [kN/m]} \cdot L[\text{m}] \leq 1000 \text{ kN}$ per modelli di carico LM 71, SW/0, SW/2
- ▶ frenatura: $Q_{lb,k} = 20 \text{ [kN/m]} \cdot L[\text{m}] \leq 6000 \text{ kN}$ per modelli di carico LM 71, SW/0
- ▶ $Q_{lb,k} = 35 \text{ [kN/m]} \cdot L[\text{m}]$ per modelli di carico SW/2
- ▶ Questi valori caratteristici sono applicabili a tutti i tipi di binario, sia con rotaie saldate, sia con rotaie giuntate, con o senza dispositivi di espansione.

AZIONI VARIABILI ORIZZONTALI

Azioni di avviamento e frenatura

- ▶ Nel caso di ponti a doppio binario si devono considerare due treni in transito in versi opposti, uno in fase di avviamento, l'altro in fase di frenatura.
- ▶ Nel caso di ponti a più di due binari si deve considerare:
 - ▶ - un primo binario con la massima forza di frenatura;
 - ▶ - un secondo binario con la massima forza di avviamento nello stesso verso della forza di frenatura;
 - ▶ - un terzo ed un quarto binario con il 50% della forza di frenatura, concorde con le precedenti;
 - ▶ - altri eventuali binari privi di forze orizzontali.
- ▶ Per il treno scarico la frenatura e l'avviamento possono essere trascurate.
- ▶ Per lunghezze di carico superiori a 300 m dovranno essere eseguiti appositi studi per valutare i requisiti aggiuntivi da tenere in conto ai fini degli effetti di frenatura ed avviamento.
- ▶ Per la determinazione delle azioni di frenatura e avviamento relative a ferrovie diverse da quelle ordinarie (ferrovie leggere, metropolitane, a scartamento ridotto, ecc.) dovranno essere eseguiti appositi studi in relazione alla singola tipologia di infrastruttura.
- ▶ I valori caratteristici dell'azione di frenatura e di quella di avviamento devono essere moltiplicati per α e non devono essere moltiplicati per Φ



Azione del vento

- ▶ Le azioni del vento sono definite al § 3.3 delle NTC2018.
- ▶ Nelle stesse norme sono individuate le metodologie per valutare l'effetto dell'azione sia come effetto statico che dinamico. Le strutture andranno progettate e verificate nel rispetto di queste azioni.
- ▶ Nei casi ordinari il treno viene individuato come una superficie piana continua convenzionalmente alta 4 m dal P.F., indipendentemente dal numero dei convogli presenti sul ponte.
- ▶ Nel caso in cui si consideri il ponte scarico, l'azione del vento dovrà considerarsi agente sulle barriere antirumore presenti, così da individuare la situazione più gravosa.



Effetti della temperatura



- ▶ Le azioni della temperatura sono definite al § 3.5 delle NTC2018.
- ▶ Nelle stesse norme sono individuate le metodologie per valutare l'effetto dell'azione. Le strutture andranno progettate e verificate nel rispetto di queste azioni.
- ▶ In aggiunta alla variazione termica uniforme, andrà considerato un gradiente di temperatura di 5 °C fra estradosso ed intradosso di impalcato con verso da determinare caso per caso.
- ▶ Nel caso di impalcati a cassone in calcestruzzo, andrà considerata una differenza di temperatura di 5 °C con andamento lineare nello spessore delle pareti e nei due casi di temperatura interna maggiore/minore dell'esterna.
- ▶ Nei ponti a struttura mista acciaio-calcestruzzo, andrà considerata anche una differenza di temperatura di 5 °C tra la soletta in calcestruzzo e la trave in acciaio.
- ▶ Anche per le pile si dovrà tenere conto degli effetti dovuti ai fenomeni termici e di ritiro differenziale.

AZTEC INFORMATICA S.r.l



Schematizzazione dei carichi ferroviari
da applicare ad un sottopasso

Grazie per l'attenzione