

29 Ottobre 2016

Cavalcavia di Lecco, come e perché è crollato



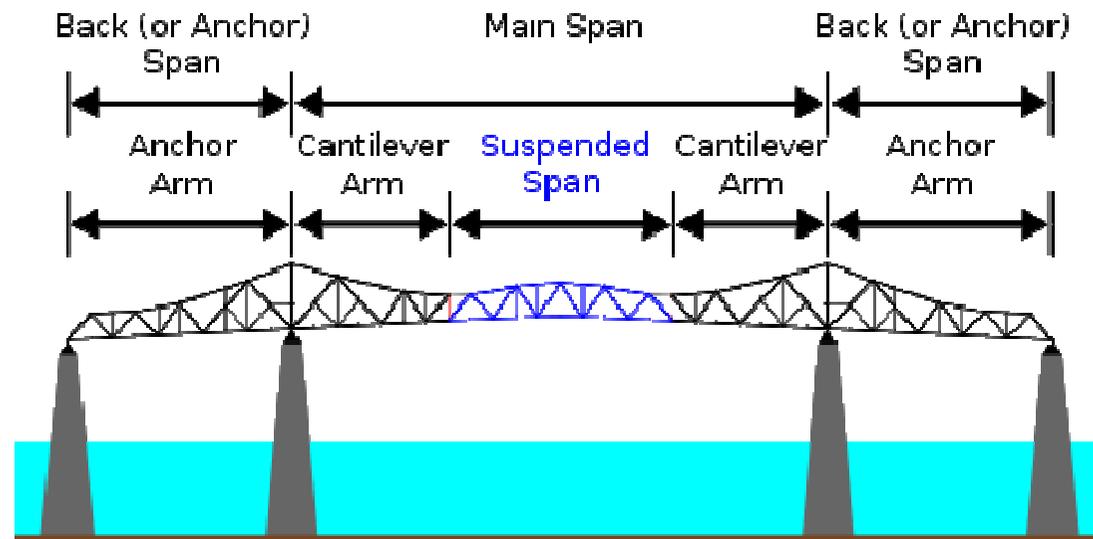
L'analisi di Antonio Occhiuzzi, Ordinario di Tecnica delle Costruzioni all'Università Parthenope di Napoli e Direttore ITC-CNR

http://www.edilportale.com/news/2016/10/progettazione/cavalcavia-di-lecco-come-e-perch%C3%A9-%C3%A8-crollato_54737_17.html

Premessa sulle travi Gerber

A cantilever bridge is constructed using cantilevers, which are horizontal structures supported only on one end. With the right materials and engineering, a steel truss cantilever bridge can span well over 1,500 feet (460 m). This type of bridge has been used for pedestrians, trains, and motor vehicles. Cantilevers are especially useful for spanning a waterway without dividing it with river piers.

Engineer Heinrich Gerber built the first cantilever bridge in 1867. He had invented the hinge girder just one year before. With this new invention, Gerber was able to lengthen the cantilevers and build a bridge that was long enough to cross Germany's Main River.

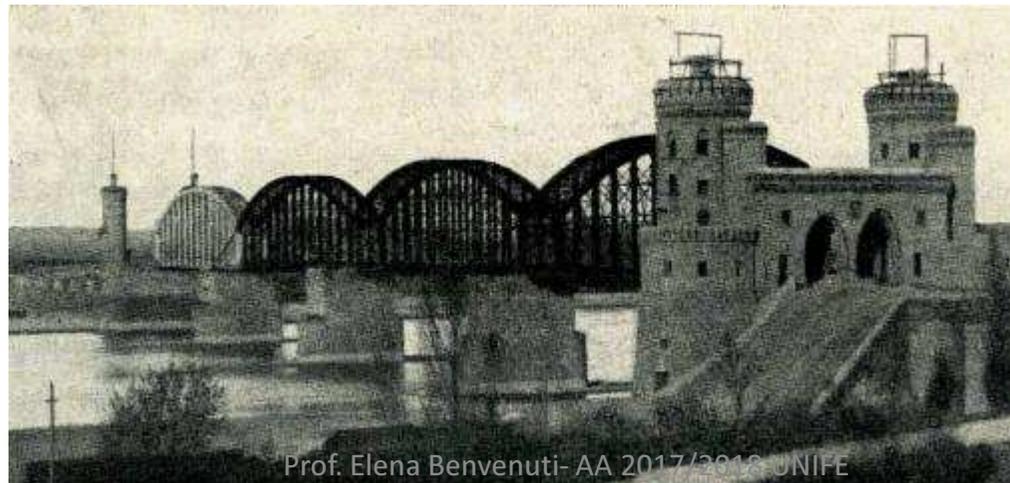


Premessa sulle travi Gerber per ponti

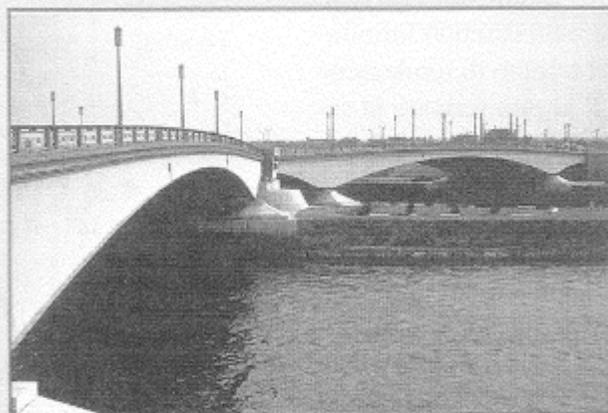
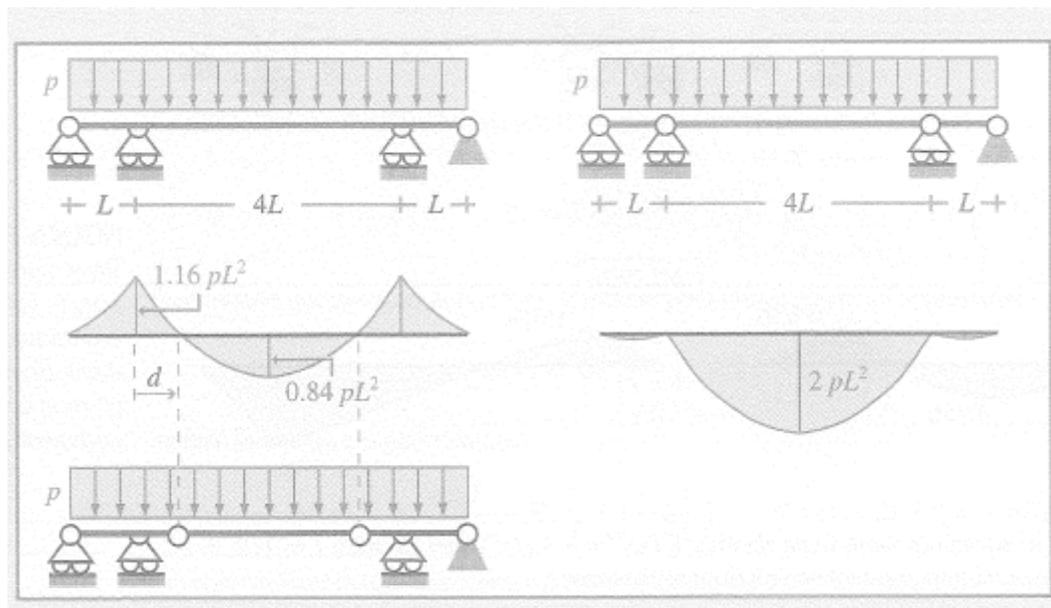
Nearly all bridges of the first half of the 19th century were single span beams, which means that multi-span bridges were divided into single spans on the piers. Of course, engineers of that time were aware of the beneficial statical behaviour of the continuous beam

However, they knew also of the disadvantages in relation to **foundation settlements**

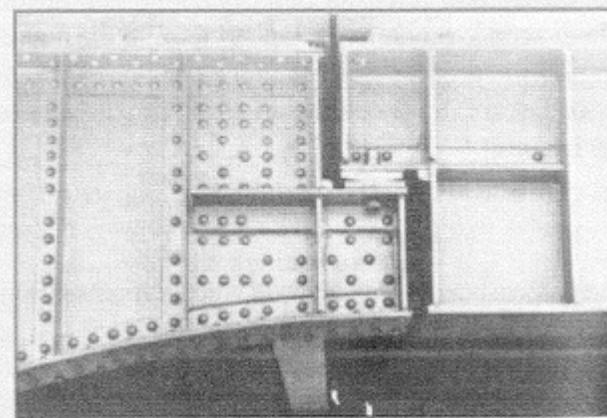
It was the idea of the German H.Gerber to introduce hinges into continuous beams at statically favourable locations, which eliminated the drawbacks of settlements. This idea was patented in 1868 and such beams were called "Gerber beams". Gerber built the first cantilever bridge in 1867. He had invented the hinge girder just one year before. With this new invention, Gerber was able to lengthen the cantilevers and build a bridge that was long enough to cross Germany's Main river



Utilità e concetto chiave delle cerniere Gerber

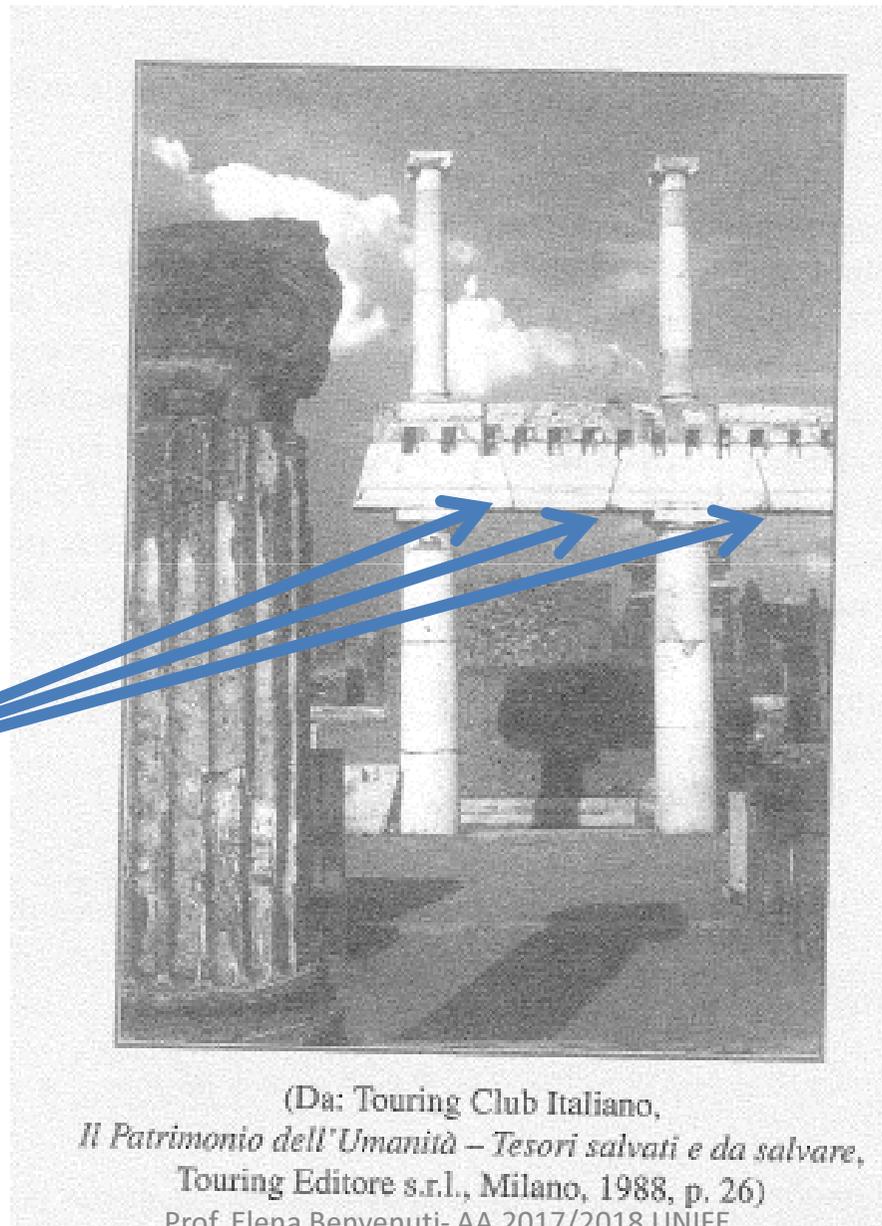


(Cortesia National Information Service for Earthquake Engineering, University of California, Berkeley)



(Da: McGuire, W., *Steel Structures*, Prentice-Hall International Series in Theoretical and Applied Mechanics, Structural Analysis and Design Series, Prentice-Hall, Inc./Englewood Cliffs, N.J., 1968, p. 106)

Curiosità: tempio romano a Pompei



CERNIERA

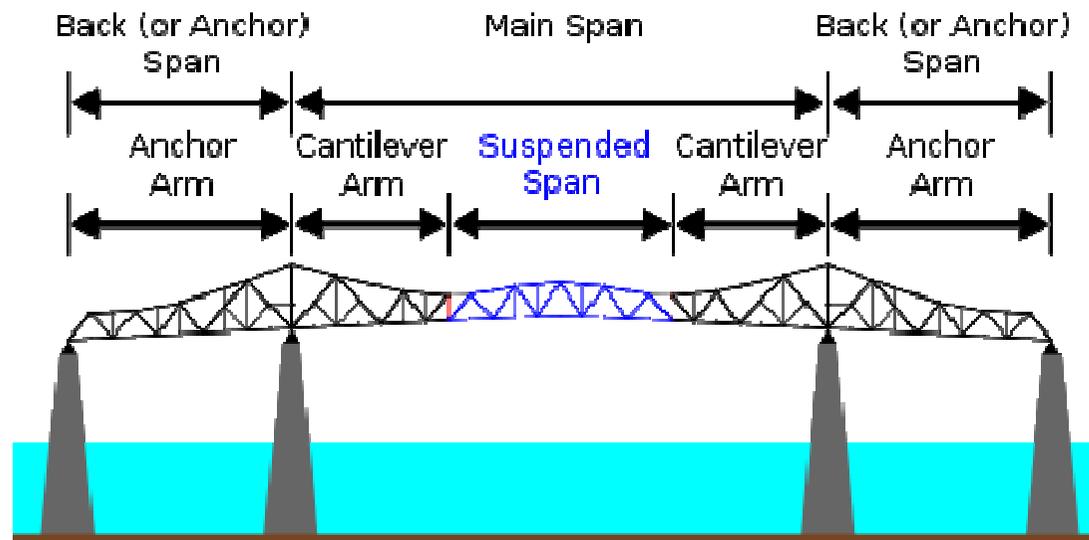
(Da: Touring Club Italiano,
Il Patrimonio dell'Umanità – Tesori salvati e da salvare,
Touring Editore s.r.l., Milano, 1988, p. 26)

Prof. Elena Benvenuti- AA 2017/2018 UNIFE

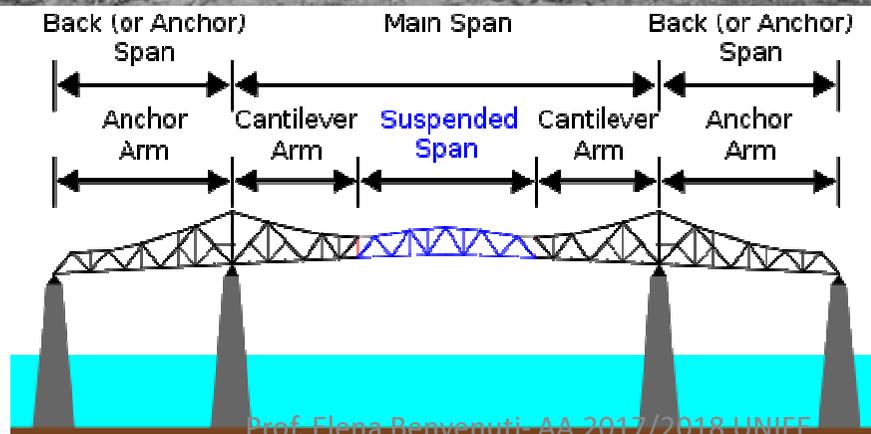
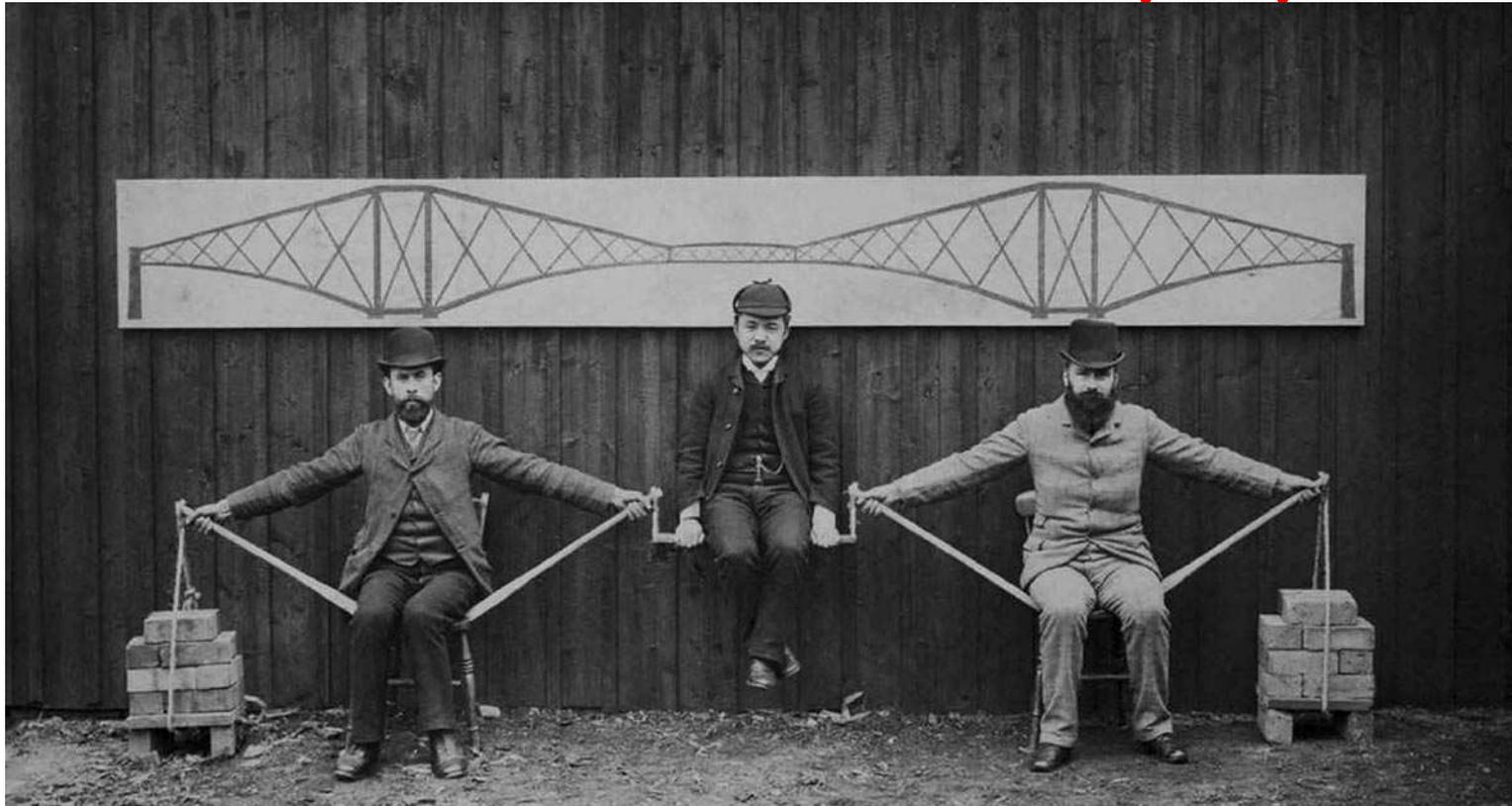
Premessa sulle travi Gerber per ponti

The first modern cantilever had been built in 1867 by Heinrich Gerber across the River Main at Hassfurt in Germany, with a central span of 130m (425ft). Named after him, cantilevers were originally called Gerber bridges

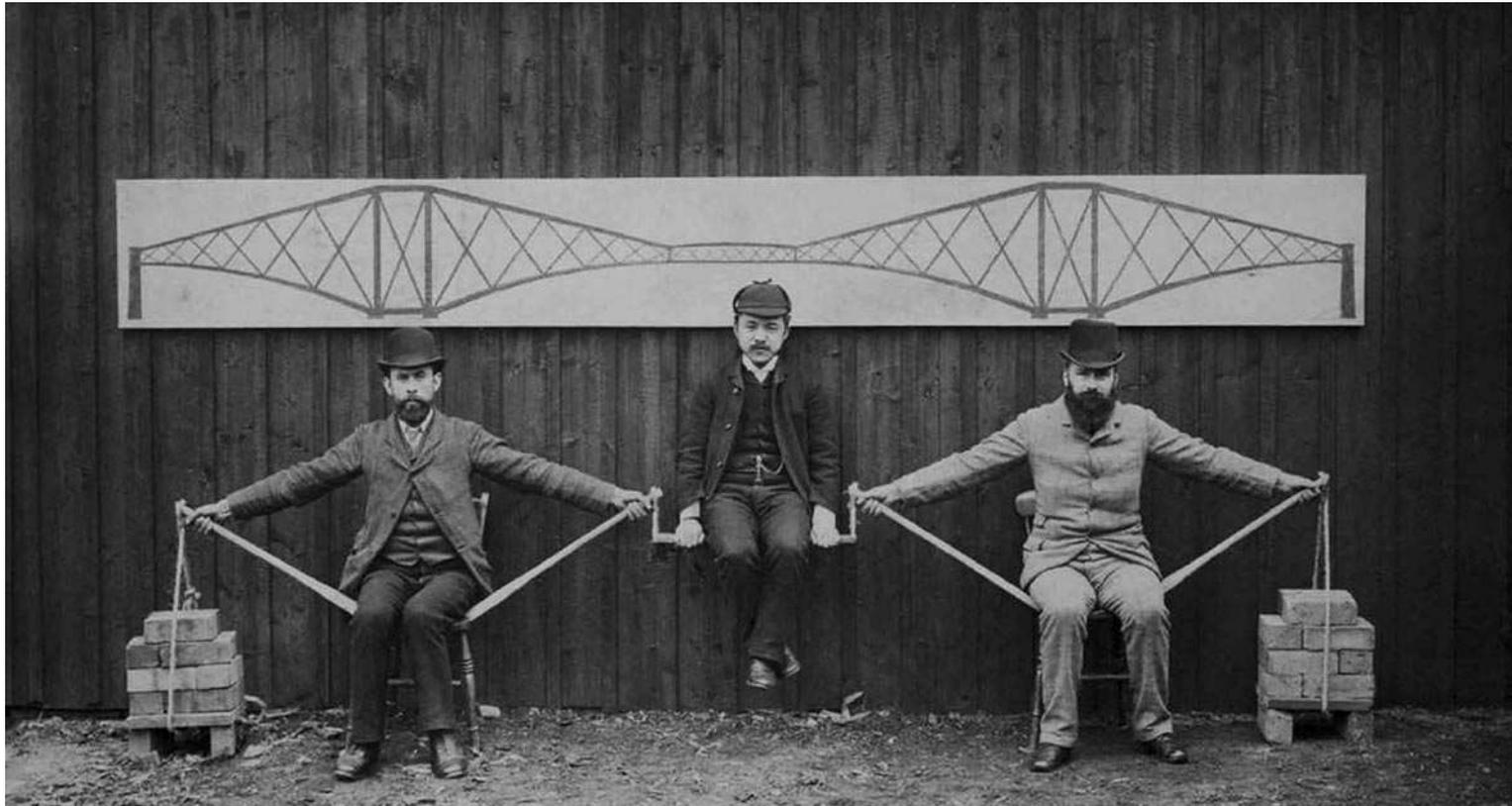
In the United States, the earliest bridge of the type was built in 1876 by Charles Shaler Smith over the Kentucky River, and in 1883 a notable cantilever bridge was built over the Niagara River by C.C. Schneider. This was the first to be called a cantilever .



Premessa sulle travi Gerber per ponti



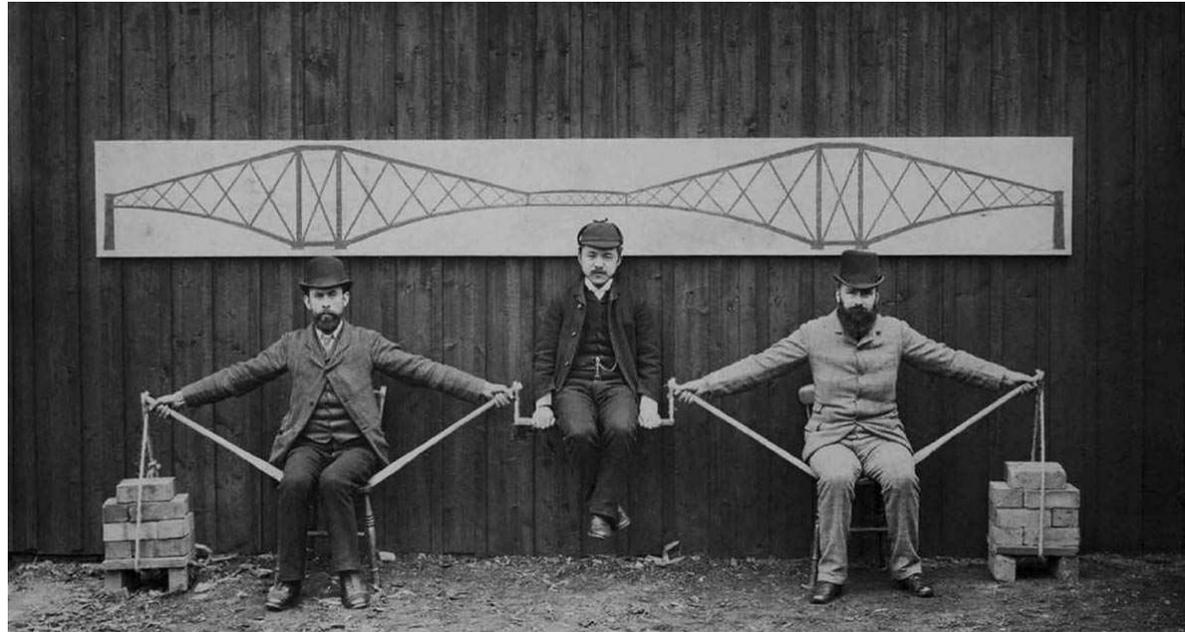
Premessa sulle travi Gerber per ponti



Fowler and Baker:

'Two men sitting on chairs extend their arms, and support the same by grasping sticks which are butted against the chairs. There are thus two complete piers, as represented in the drawing above their heads. The centre girder is represented by a stick suspended or slung from the two inner hands of the men, while the anchorage provided by the counterpoise in the cantilever end piers is represented here by a pile of bricks at each end.'

Premessa sulle travi Gerber per ponti



When a load is put on the central girder by a person sitting on it, the men's arms and the anchorage ropes come into tension.

'The chairs are representative of the circular granite piers. Imagine the chairs one-third of a mile apart and the men's heads as high as the cross of St Paul's, their arms represented by huge lattice steel girders and the sticks by tubes 12 feet in diameter at the base, and a very good notion of the structure is obtained.'

Premessa sulle travi Gerber per ponti

As of 2010, the Quebec Bridge in Canada holds the record for the longest single cantilever span. The simple cantilever bridge is 1,800 feet (549 m) long. In Scotland, the Forth Bridge is another famous cantilever bridge. Made of steel, the Forth Bridge uses balanced cantilevers on river piers and on land to make a combined span of 3,300 feet (1,006 m)

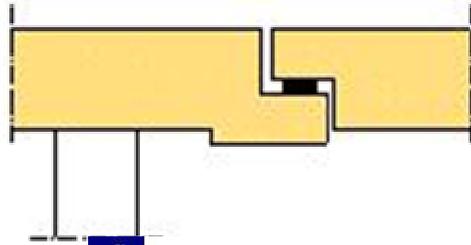


Premessa sulle travi Gerber per ponti

The old eastern span of the San Francisco-Oakland Bay Bridge is deconstructed in nearly the reverse order of its construction.
(Image August 23, 2014)



b)



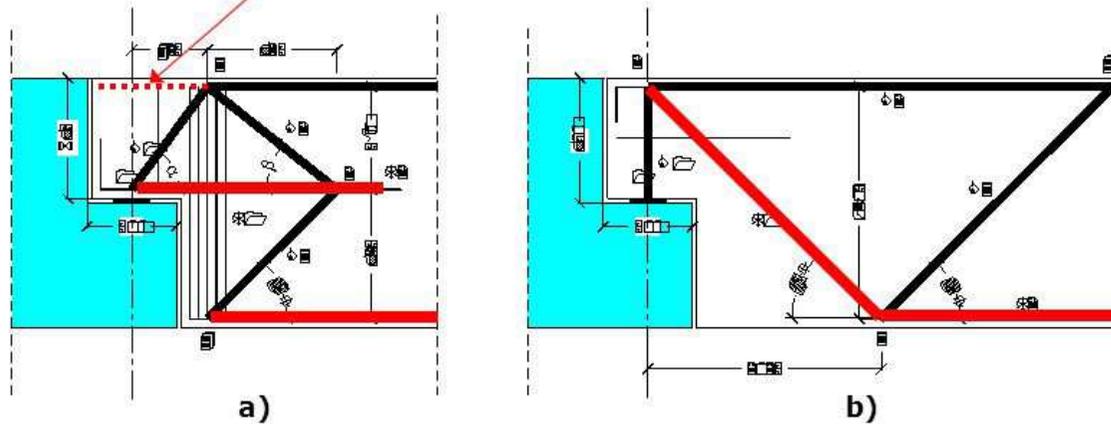
Selle Gerber in calcestruzzo armato

Esempio 10.4. Sella Gerber

L'EC2 consiglia di utilizzare uno dei due tralicci in figura:

schema b) bordo inferiore completamente privo di armature

schema a) occorre **un'armatura longitudinale superiore** per ancoraggio staffe ed armatura di confinamento del puntone inclinato C1



Materiali:

calcestruzzo C35/45 $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$

acciaio B450C $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

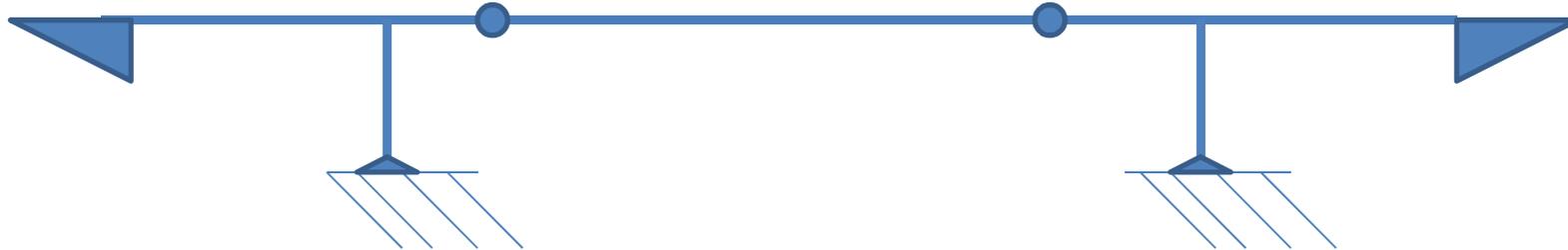
29 Ottobre 2016

Cavalcavia di Lecco, come e perché è crollato



Cavalcavia di Lecco, come e perché è crollato

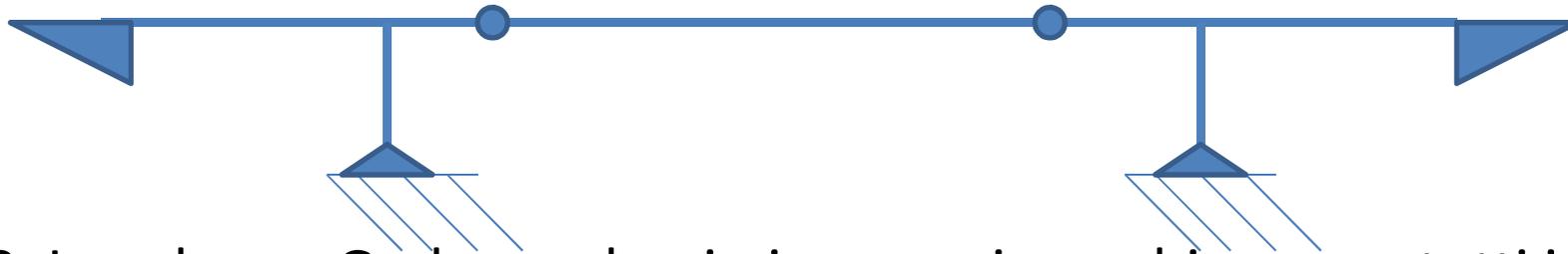
L'analisi di Antonio Occhiuzzi, Ordinario di Tecnica delle Costruzioni all'Università Parthenope di Napoli e Direttore ITC-CNR



1. **Cavalcavia isostatico su schema Gerber**, 2 spalle e 2 pile; campate di riva in appoggio con sbalzo verso la mezzeria, selle Gerber, campata centrale più lunga a semplice appoggio sulle selle Gerber. Sezione diffusa aperta 'a pettine', costituita da travi con sezione ad "I" affiancate

È significativo osservare, con riferimento a notizie apparse sulla stampa, che le selle appaiono avere una geometria correttamente dimensionata.

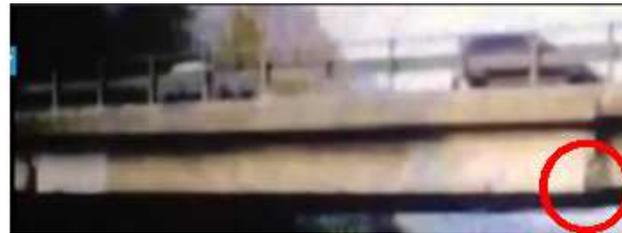
Cavalcavia di Lecco, come e perché è crollato



2. Lo schema Gerber va benissimo, ma invecchia, come tutti i ponti e come tutte le cose. I giunti strutturali sono proprio in corrispondenza delle selle Gerber, e da lì, se non sono in opera appositi apparecchi di giunto, si infila l'acqua proveniente dalla piattaforma stradale. [...], si comincia a gettare sale sulle strade in Novembre e si va avanti fino a fine Aprile. Inutile sottolineare **l'effetto dei cloruri di sodio presenti in acqua sulle armature del calcestruzzo**. Le foto dall'estradosso mostrano che apparecchi di giunto non ce n'erano: calcestruzzo e armature erano presumibilmente 'invecchiati' dal sale, quando non ammalorati, proprio in corrispondenza delle selle Gerber.

Cavalcavia di Lecco, come e perché è crollato

3. Il cantoniere addetto alla sorveglianza (lo fanno tutti i giorni) si accorge che il calcestruzzo delle selle si sta rapidamente deteriorando, ma non può capirne le potenziali conseguenze. È preoccupato che **pezzi di copriferro in caduta** possano colpire gli autoveicoli in transito, e fa quello che è nelle sue possibilità: chiude una corsia della strada sottostante, la corsia immediatamente al di sotto della sella Gerber, concentrando il traffico sulla sola corsia di sorpasso. L'immagine della sua telecamera (foto qui sotto a destra) mostra che già prima del passaggio del mezzo, **le linee di intradosso di campata centrale e mensola non sono più allineate**, come lo erano in precedenza (foto qui sotto a sinistra, da Google Streetview)



Cavalcavia di Lecco, come e perché è crollato

4. L'autoveicolo oggetto dell'incidente non può definirsi un semplice TIR. Il carico massimo lordo per gli autotreni previsto dal codice della strada è intorno ai 450 kN (45 tonnellate); da circa trent'anni, i calcoli dei ponti stradali si fanno considerando il transito di uno o più mezzi di peso pari a 600 kN (60 t); considerando anche gli altri carichi previsti dalle norme vigenti, si è a circa 1,5 volte il carico massimo che può transitare in Italia. Il camion in questione è un bestione a 8 assi, con 30 impronte di carico (gomme). La tara è intorno ai 150-200 kN (15-20 t) e il carico, da quanto si capisce due grossi coil di acciaio pesanti oltre 250 kN ciascuno, potrebbe essere superiore ai 500 kN (50 t). In totale, un peso superiore ai 700 kN, probabilmente ancora maggiore (anche se non credo che si possa arrivare a oltre 1000 kN come riferito dai giornali)

NESSUNO ha progettato o costruito il cavalcavia per quel carico.

Cavalcavia di Lecco, come e perché è crollato

5 Esistono, ogni giorno, numerosi trasporti eccezionali, per geometria (sagoma), per carichi o per entrambe le cose. Si studiano con attenzione i percorsi, si evitano tratti a rischio - in manutenzione o sotto 'osservazione', si transita di notte chiudendo al traffico gli itinerari da utilizzare. In queste condizioni, il mezzo eccezionale transita al centro della carreggiata quando percorre gallerie e ponti. Nel caso in questione, in cui la geometria aperta della sezione trasversale definisce un comportamento torsionale completamente 'secondario' (il bimomento della sezione globale indotto dal mezzo che percorre il ponte accostato al margine della carreggiata, e non al centro, si trasforma in extra-taglio e extra-momento flettente per le singole travi, che si aggiungono al comportamento flessionale tradizionale), **il trasporto eccezionale avrebbe dovuto percorrere il cavalcavia a cavallo della linea centrale**

6. Non va così: il mezzo percorre il cavalcavia a traffico aperto (sopra e sotto), transitando sulla destra. I valori di taglio e flessione sono superiori a quelli di progetto e la posizione di transito eccentrica rispetto all'asse del ponte fa 'schizzare in cielo' il taglio nella sezione della sella Gerber sulla trave di bordo dal lato dell'autoarticolato. Appena questo è interamente sul cavalcavia, salta la sella Gerber della trave di bordo in corrispondenza della fine del mezzo (non serve tracciare la linea di influenza del taglio per carichi viaggianti per capire che è la posizione del mezzo che comporta il massimo taglio nella sella). Manca l'apparecchio di giunto, come visto prima, gli assi avranno anche impattato sulla piattaforma stradale dopo aver attraversato il giunto, dando anche un 'tocco dinamico' all'impennata del taglio. Saltata la prima sella Gerber continua la torsione dell'impalcato e saltano in sequenza anche le altre. Non tutte però: l'ultima resiste (non cederà neanche nel prosieguo) e, per qualche istante regge da sola il carico (peso del ponte e dei carichi in transito) che prima divideva con le altre quattro. **L'equilibrio dinamico del cavalcavia dal momento in cui si rompe la prima sella è di difficilissima interpretazione:** fatto sta che per qualche momento il peso del ponte e del carico straordinario vengono sostenuti dall'unico appoggio rimasto, generando nello sbalzo della campata di riva, al di sopra della pila, un momento flettente negativo dal valore inimmaginabile: la sezione sostiene una mostruosa rotazione plastica senza scomporsi troppo (congratulazioni a progettista ed esecutore per la straordinaria performance!), ma il miracolo dura solo qualche attimo.



Cavalcavia di Lecco, come e perché è crollato

7. L'autoarticolato ruota lungo il proprio asse e, **precipitando sulla statale in basso, si ribalta quasi a 180°**. L'autista della vettura bianca in transito sulla statale, si accorge di quanto sta accadendo (nel video in rete si vedono, chiari, gli stop che si accendono) e quasi riesce a fermarsi a tempo.

8. Nonostante la straordinaria duttilità della sezione di appoggio del cavalcavia, gli spostamenti assumono valori troppo elevati, **la campata centrale perde l'appoggio e - praticamente integra - precipita sulla strada sottostante** con il suo carico di morte, del quale non ha nessuna colpa.



Prof. Elena Benvenuti- AA 2017/2018 UNIFE

Cavalcavia di Lecco, come e perché è crollato

Conclusioni: non basta mai un solo errore, ce ne vogliono tanti per fare un disastro. Ed errori (e responsabilità) appaiono abbastanza chiari: difetto di manutenzione, mancata comprensione di quanto sarebbe successo, viaggio temerario del carico “eccezionale” accadono questa volta in Lombardia, la più avanzata regione italiana, dove è piacevole vivere e lavorare, ma dove - come dappertutto - si sbaglia”

L’analisi di Antonio Occhiuzzi, Ordinario di Tecnica delle Costruzioni all’Università Parthenope di Napoli e Direttore ITC-CNR

http://www.edilportale.com/news/2016/10/progettazione/cavalcavia-di-lecco-come-e-perch%C3%A9-%C3%A8-crollato_54737_17.html