



Prof. dott. ing. GIULIO BALLIO
emerito del Politecnico di Milano
Ordinario di Scienza delle
Costruzioni nella Università
di Pavia (1975-1983)
Ordinario di Costruzioni in Acciaio
nel Politecnico di Milano
(1984-2010)
 Rettore del Politecnico di Milano
(2003-2010)

PONTE MORANDI: RICORDI E PENSIERI

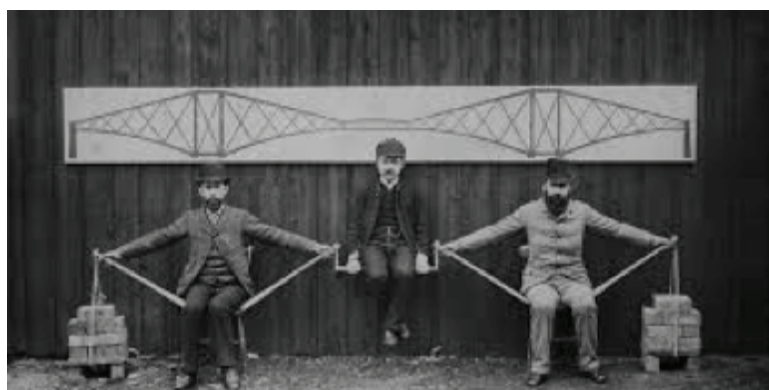
L'ing. Emanuele Maiorana, Presidente del CTA, mi ha chiesto alcune riflessioni sul tragico collasso del Ponte Morandi. Ho cercato di mettere in ordine i ricordi e i pensieri che mi si sono affollati nella mente in quei giorni di agosto, ovviamente cercando di evitare ogni sovrapposizione con l'attività dei molti colleghi che si sono occupati in passato della "salute" del ponte e di quelli che oggi operano nell'ambito della inchiesta giudiziaria o che si dedicheranno al progetto di ricostruzione di un'opera così indispensabile a Genova, al suo territorio, alla sua economia.

GLI ANNI '60 - '70

Gli anni '60-'70 furono magici per lo sviluppo del nostro Paese. In ogni zona d'Italia si costruivano infrastrutture e stabilimenti per muoversi e produrre. Protagonista incontrastato era il cemento armato insieme alla sua nuova versione: il cemento armato precompresso. Già negli anni '30, Freyssinet aveva capito che solo gli acciai armonici ad altissima resistenza potevano garantire uno stato permanente di precompressione nel calcestruzzo; con acciai normali le perdite di tensione dovute al rilassamento dell'acciaio e al ritiro e al *fluage* del calcestruzzo annullavano l'iniziale compressione. Da principio si parlò soltanto di c.a.p. post teso a cavi scorrevoli in guaine successivamente riempite di boiaccia. Morandi brevettò il primo ancoraggio in Italia: se ben ricordo prevedeva tre paia di fili 6 mm infilati in una ghiera opportunamente sagomata e bloccati da un cuneo. Ne seguirono altri, sempre più perfezionati per combattere il pericolo di una rottura dei fili all'atto della tesatura, nella zona di contatto col cuneo. A seguito dei successi del precompresso a cavi scorrevoli e della diffusione degli stabilimenti di prefabbricazione, si sviluppò quello più economico a cavi aderenti che prevedeva banchi di tesatura e trefoli. In definitiva il cemento armato, nei suoi primi cento anni di vita, aveva così conquistato il mondo delle costruzioni realizzando il sogno di ogni progettista: *disporre di un materiale economico, modellabile secondo la propria volontà, da ritenersi eterno, come la pietra.*

Nel nostro Paese progettisti e imprenditori non consideravano l'acciaio una valida alternativa al cemento armato normale o precompresso. Nel ventennio 1920-1940 la scarsità della materia prima e la volontà di destinare le poche risorse nazionali all'industria manifatturiera e degli armamenti aveva impedito lo sviluppo della costruzione metallica nell'ambito della ingegneria civile: ben poche furono le realizzazioni in acciaio; la cultura italiana nel settore venne meno. Le scuole universitarie italiane che avevano iniziato l'insegnamento sistematico di questa disciplina alla fine dell'Ottocento, l'abbandonarono. Dopo il 1920, i corsi istituzionali di costruzione in ferro, legno e cemento armato, dedicano la quasi totalità dei contenuti alle costruzioni in cemento armato. La costruzione metallica non viene neppure citata nelle normative

sulle costruzioni. La sua cultura resta in mano a pochi illuminati operatori quali le Ferrovie; nel dopoguerra in un numero ristretto di professionisti ed in alcune realtà industriali, quali la SAE, nata per elettrificare la tratta ferroviaria del Brennero e la C.M.F. - Costruzioni Metalliche Finsider il cui ufficio tecnico era diretto da Fabrizio De Miranda. Si guarda alle soluzioni adottate da altri paesi, la CMF inizia a proporre ponti e viadotti con travi in acciaio collaboranti con la soletta in cemento armato; il più ardito fu il Ponte sull'Entella della A12, una trave continua a cassone di 90 metri di luce, costruito nel 1969. Finalmente, nella seconda metà degli anni '60 vengono pubblicate dal CNR le prime istruzioni per il progetto, l'esecuzione e la manutenzione delle costruzioni in acciaio e delle travi composte di acciaio - calcestruzzo. Negli anni '70 i congressi e i corsi di cultura del Collegio dei Tecnici dell'Acciaio attirano diverse centinaia d'ingegneri; nel 1967 viene istituito nella Facoltà di Ingegneria di Napoli il primo corso istituzionale di Costruzioni Metalliche, seguito, nel 1968 da quello di Costruzioni in Acciaio nel Politecnico di Milano.



In sintesi, agli inizi degli anni '60, le idee progettuali apprezzate da imprese e committenti prevedono ponti in calcestruzzo, realizzabili in tempi brevi, con ponteggi e casseri ridotti. Il ponte ad arco diviene una rarità, è sostituito da schemi isostatici, dettati dall'impiego di travi prefabbricate e più facilmente dominabili col calcolo, ancora manuale. La precompressione con cavi post tesi permette l'assemblaggio di conci prefabbricati; di qui la esecuzione di ponti a sbalzo o il varo di travate continue.

La soluzione in cemento armato era quindi scontata per un ponte che richiedeva luci di 200 metri per scavalcare il torrente Polcevera, e un'estesa area ferroviaria. L'essenzialità dello schema strutturale adottato da Morandi richiama alla memoria la celebre dimostrazione data da John Fowler e Benjamin Baker per illustrare il loro progetto del Forth Bridge, ponte ferroviario in acciaio, con più di 500 metri di interesse fra i piloni, realizzato in Scozia nel 1890: la travata gerber ha le parti a sbalzo sostenute da tiranti che si dipartono dalla sommità di piloni.

Innovativa è l'idea di Morandi per i tiranti: in cemento armato precompresso, meno estensibili rispetto a quella con cavi in acciaio; consente una minore deformabilità dell'impalcato e un maggior numero di cicli a fatica all'acciaio.

GLI EFFETTI ANTROPICI E IL CONCETTO DI RIDONDANZA STRUTTURALE

Il calcestruzzo, esaltato come il materiale ideale perché economico, di facile messa in opera, modellabile secondo i desideri del progettista, non era eterno come la pietra. L'acidità crescente dell'aria, la salinità portata dal vento, le emissioni degli insediamenti industriali, il sale distribuito nel periodo invernale sulle strade mostrarono ben presto tutta la vulnerabilità delle costruzioni in calcestruzzo. Fessurazioni, carbonatazione, distacchi di copriferro, corrosione dell'acciaio di armatura, mancanza di boiaccia nelle guaine che avvolgevano i cavi di precompressione, ingenerarono ben presto danneggiamenti locali che potevano essere riparati al loro primo manifestarsi, ma che, se trascurati minavano la resistenza della costruzione. Nei ponti l'evoluzione del traffico causò non pochi problemi, non tanto per l'entità dei carichi dei mezzi pesanti, bensì per la maggior intensità dei loro passaggi. Se si raffrontano le prime normative che prevedevano il passaggio di carichi militari con quelle odierne, si nota che l'entità dei carichi di progetto non è molto diversa: quello che cambia è lo spettro dei carichi, ben più severo nei riguardi di problemi di fatica. Spesso vi furono danneggiamenti importanti nei particolari costruttivi soggetti a carichi concentrati, con particolare riguardo ai dispositivi di appoggio, alle selle delle travate gerber. Per fronteggiare la nuova situazione si iniziò ben presto a parlare di manutenzione e a mettere a punto tecnologie adatte alla riparazione. Purtroppo, la miopia dei gestori delle infrastrutture continuò a trascurare e rimandare nel tempo gli interventi senza considerare che il mancato esborso economico per un piccolo danno di oggi, domani comporterà un danno di più ordini di grandezza maggiore, per non parlare di perdite di vita umane.

Da un punto di vista progettuale iniziò una riflessione sulla cosiddetta "ridondanza strutturale": concepire cioè una struttura in modo

che l'indebolimento o il cedimento di un suo elemento resistente non comporti il collasso dell'intera costruzione. Tali riflessioni vennero codificate in EN 1990 - Basis of Structural Design, il «progenitore» di tutti gli Eurocodici, certamente il meno conosciuto perché tratta tematiche non direttamente applicabili alla quotidianità del nostro lavoro. Fra i requisiti essenziali di una struttura (punto 2.1) è scritto, fra l'altro: "Potenziali danni devono essere evitati o comunque limitati (...) scegliendo una tipologia strutturale sovrabbondante (...) e/o evitando che un sistema strutturale possa crollare senza segni premonitori".

Ovviamente tali dettami comportano una modifica dei nostri atteggiamenti progettuali: prediligere schemi iperstatici, sovradimensionare collegamenti e nodi strutturali, curare con grande attenzione i dispositivi di appoggio, prendersi cura dei fenomeni di fatica, ecc. Ovviamente non è sempre possibile rispettare il requisito di sovrabbondanza e progettare in modo che la struttura sopravviva alla rimozione di un suo elemento. Ad esempio è possibile progettare l'impalcato di un ponte sospeso in modo da impedirne il collasso se 2-3 pendini cedono; non è possibile evitare il crollo se cede un cavo principale portante: è necessario prevedere che evidenti segni premonitori si manifestino prima del suo collasso.

Nello schema del Ponte Morandi ogni elemento strutturale è essenziale: se cede un tirante l'impalcato cade, se cede una sella di appoggio, la travata centrale cade e sbilancia il cavalletto. Chiediamoci se il Ponte Morandi fu in grado di evidenziare i segni premonitori del suo malessere.

I SEGNI PREMONITORI

Nella mia esperienza professionale ho sempre notato che le strutture sono simili a noi: se soffrono manifestano, ovviamente a modo loro, il loro malessere, talvolta in modo evidente, talvolta in modo sommerso. È nostro compito cogliere i loro segni di sofferenza, capire se sono inessenziali oppure importanti. L'ing. Aldo Favini, mio primo Maestro, uno dei pochi precompressisti operanti negli anni '50, diceva: *"Non esiste una struttura in cemento armato senza crepe, cerca sempre di capire se la fessura si è creata per rispettare la congruenza delle deformazioni oppure se indica che lo stato di sforzo è al limite della resistenza del materiale"*.

È estremamente raro un collasso con segni premonitori così deboli da non essere stati osservati: il caso più eclatante fu il crollo improvviso della Torre Civica di Pavia del 1989; forse segni dell'imminente collasso ci furono, ma nessuno fu in grado di osservarli e prenderli in carico; tutti noi strutturisti restammo particolarmente impressionati da questa mancanza.

Talvolta i segni premonitori sono talmente flebili da poter essere colti solo da persone particolarmente attente e ricche di esperienza. Un esempio emblematico è il Duomo di Milano: negli anni '60 l'addetto alle pulizie riferì all'ing. Carlo Ferrari da Passano, Proto-Architetto della Veneranda Fabbrica, che tutte le mattine rinveniva piccole scaglie di marmo alla base delle colonne del Tiburio. Ferrari comprese subito che forse il Duomo stava mandando un segnale di malessere; Piero Locatelli, successore di Arturo Danusso nella cattedra di Scienza delle Costruzioni nel Politecnico di Milano, prese di petto il problema; la prova di compressione a rottura di un modello in scala evidenziò una espulsione di scaglie al 90% del carico di collasso della colonna; la Fabbrica iniziò un'opera di consolidamento durata anni. Fu un'opera di ingegneria di altissimo livello, sconosciuta ai più, senza la quale oggi Milano non avrebbe più la sua Cattedrale. Nella maggior parte dei casi però i segni premonitori possono essere colti con maggior facilità: deformazioni e vibrazioni eccessive, rotture, instabilità, sconessioni localizzate, ammaloramento dei materiali, ecc., costituiscono i termometri della febbre delle nostre costruzioni.

Il 14 agosto pomeriggio, mi stavo recando da Sestri Levante a Genova per una intervista a una emittente televisiva che il Politecnico di Milano mi aveva sollecitato. In treno mi dissi: il Ponte non è la Torre Civica di Pavia; quali segni premonitori ci ha mandato? Mi venne immediata la risposta: il Ponte mandò il suo primo segno premonitore una ventina di anni fa, quando si ritenne doveroso consolidare i tiranti della Pila 11, l'ultima a levante. Fu un segno ben chiaro di una forte febbre, provocata da una seria malattia, non da un'influenza passeggera.

Mi venne spontanea la seconda domanda: possibile che nessuno abbia pensato che le pile erano tutte simili per intensità di traffico, esposizione al mare, corrosione, carbonatazione, e che quindi anche le altre avrebbero sofferto della stessa malattia della loro sorella gemella e avrebbero avuto bisogno della stessa cura? Certamente qualcuno ci fu, non posso credere che attorno ai problemi del Ponte Morandi ci fossero solo tecnici sprovveduti.

Di conseguenza mi venne in mente una serie di altre domande di difficile risposta. Perché le persone competenti restarono inascoltate? Furono forse tacitate? Perché ognuno mise da parte le proprie conoscenze tecniche? Perché ognuno pensò che era compito di altri provvedere, rimuovendo il proprio senso di responsabilità? Perché le certezze derivanti dalle proprie conoscenze possono costituire un ostacolo alla propria carriera? Nessuno di noi, solo la Magistratura potrà rispondere a queste domande.

Ad Architetti e Ingegneri spetterà ricostruire un ponte, spero presto, in acciaio, accuratamente progettato e realizzato, ben verniciato, con sezioni e dettagli costruttivi che evitino ogni ristagno d'acqua, duraturo negli anni futuri.