

## THE FORTH BRIDGE

Questo ponte costruito con aste reticolari in acciaio (il primo a utilizzare tale materiale – nella torre Eiffel, della stessa epoca, venne utilizzato il ferro battuto) è ritenuto in Scozia, dove si trova, un monumento nazionale e di cui gli scozzesi vanno estremamente fieri. Esso all'epoca della sua costruzione (1883-1890) fu una delle maggiori meraviglie strutturali esistenti e detenne per molti decenni diversi primati: quello di ponte più lungo, campate ad arco più lunghe, uso dell'acciaio quale materiale strutturale, ecc. Il progettista strutturale lo definì come: "A romantic chapter from fairytale of science" ("Un romantico capitolo dalla favola della scienza").

Sembra incredibile che quasi negli stessi anni siano state costruite tre opere strutturali in ferro o in acciaio che ancora oggi destano meraviglia e sono perfettamente funzionanti: il Ponte di Brooklyn (1867-1883), di cui parleremo nel settimo capitolo; la Torre Eiffel (1886-1889) e il Forth Bridge; esse rappresentano delle autentiche icone dell'ingegneria strutturale e in particolare dell'architettura in ferro.

Quello che mi ha particolarmente colpito di questo ponte, oltre alle dimensioni, sono stati i semplici principi strutturali utilizzati dal progettista Sir Benjamin Baker per la sua realizzazione e la mirabile spiegazione che ne dà lo stesso Baker in una lezione tenuta presso la Royal Institution nel 1887, utilizzando una famosa immagine allegorica (una foto) formata da persone e oggetti detta *The Human Cantilever*. Tale immagine, da me gelosamente custodita in un quadro con la foto del ponte scattata personalmente affissa nel mio ufficio da decenni, è stata forse una delle fonti ispiratrici di questo libro – di essa parleremo nel seguito.

Il Forth Bridge – conosciuto anche come Forth Rail Bridge o Forth Railway Bridge – è un ponte ferroviario *a sbalzo* sull'estuario del fiume Forth (figura 4.34), in Scozia.

Il primo progetto fu a opera di Sir Thomas Bouch, ma la costruzione si fermò alla posa delle fondamenta in quanto l'ingegnere fu coinvolto in un'inchiesta riguardante il crollo di un altro ponte da lui progettato, il Tay Bridge. Successivamente il progetto fu assegnato a due ingegneri inglesi, Sir John Fowler e Sir Benjamin Baker. I lavori vennero eseguiti tra il 1883 e il 1890. Lungo 2,5 km con doppia linea ferroviaria a 46 m s.l.m., questo ponte è ancora oggi una meraviglia dell'ingegneria. È formato da due campate principali di circa 520 m, due laterali di 200 m, 15 campate di avvicinamento da 50 m e cinque da 7 m. Ciascuna delle due campate è composta da due braccia a sbalzo di 207 m le quali sorreggono una campata centrale a trave di 106 m.



massimo di 4600 lavoratori furono impiegati per la costruzione. Inizialmente si registrò la perdita di 57 vite; ma dopo estese ricerche di storiografi locali, il dato fu portato a 98. Otto uomini furono salvati da barche posizionate nel fiume sotto l'area di lavoro e più di cento rimasero invalidi per gravi incidenti. Nella progettazione dei ponti era abbastanza comune l'uso di sbalzi, ma la particolarità sta nella grandiosità del lavoro di Baker. Baker aveva calcolato l'incidenza degli sforzi di erezione, aveva studiato accorgimenti per ridurre i costi di manutenzione, aveva calcolato i carichi ventosi, che erano stati portati alla ribalta dal crollo del Tay Bridge, e gli effetti degli sforzi termici. Per la costruzione vennero impiegati più di 55.000 tonnellate di acciaio, 18.122 m<sup>3</sup> di granito e oltre 8 milioni di rivetti. Il ponte fu inaugurato il 4 marzo 1890 dal futuro re Edoardo VII, che piantò un ultimo rivetto dorato, iscritto.

## THE HUMAN CANTILEVER (LA MENSOLA UMANA)

*The Human Cantilever* (un'immagine simbolica immortalata in una famosa fotografia) (figura 4.36) fu utilizzata da Benjamin Baker per spiegare i semplici principi strutturali alla base della costruzione del ponte, e in particolare del funzionamento della struttura (piloni più arco) a sbalzo, in una lezione tenuta al Royal Institution.

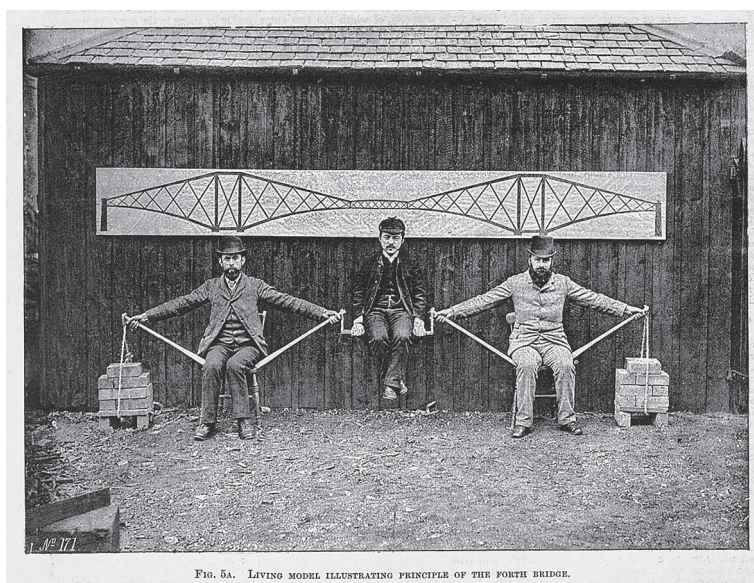


Figura 4.36. The Human Cantilever

L'uomo al centro era Kaichi Watanabe, uno della prima generazione di ingegneri giapponesi spedito a studiare nella vecchia Europa. Watanabe, uno studente di John Fowler e Benjamin Baker, fu invitato a partecipare nel modello umano della struttura a sbalzo per ricordare al pubblico il debito che i progettisti avevano nei confronti dell'Oriente dove i principi delle strutture a sbalzo erano stati inventati.

Baker spiega che due uomini seduti sulle sedie allungano le loro braccia e portano lo stesso carico afferrando dei bastoni che sono impostati contro le sedie, ci sono così due pile complete, come rappresentate nel disegno sopra le loro teste. La trave reticolare centrale è rappresentata dall'asse sospeso

o appeso alle due mani interne degli uomini, mentre l'ancoraggio fornito dal contrappeso negli sbalzi di estremità è rappresentato qui dalla pila di mattoni ai due lati. Quando un carico è messo sulla trave centrale dalla persona seduta sopra, le braccia degli uomini e le funi di ancoraggio entrano in trazione, e il corpo degli uomini dalle spalle in giù e i bastoni entrano in compressione. Le sedie rappresentano le pile circolari in granito.

Immagina le sedie 1/3 di miglio distanti tra di loro e le teste degli uomini alte come la croce della cattedrale di San Paolo, le loro braccia rappresentate da grandi travi a traliccio in acciaio ed i bastoni da tubi di diametro 12 piedi alla base, e una nozione molto buona della struttura sarà ottenuta.

Certamente *The Human Cantilever* non è paragonabile al modello in mattoni della cupola del Brunelleschi, molto più complesso ed esso stesso un'opera d'arte, come non è paragonabile ai modelli in legno rinascimentali delle grandi cattedrali, ma esso nella sua semplicità riesce a ben rappresentare il comportamento strutturale del ponte e a colpire l'immaginazione del pubblico rendendolo consapevole dei semplici principi adottati alla base della progettazione senza per questo sminuire minimamente il valore dell'opera d'arte. Tutto ciò rappresenta un'ulteriore conferma a quanto asserito in questo testo che l'idea, l'opera d'arte, l'invenzione si basano su semplici principi che possono essere alla portata di tutti (o quasi tutti), le tecniche e la scienza vengono dopo!

Nella figura 4.37 è riportato il modello semplificato del Forth Bridge con le aste tese e compresse e la trave reticolare centrale.

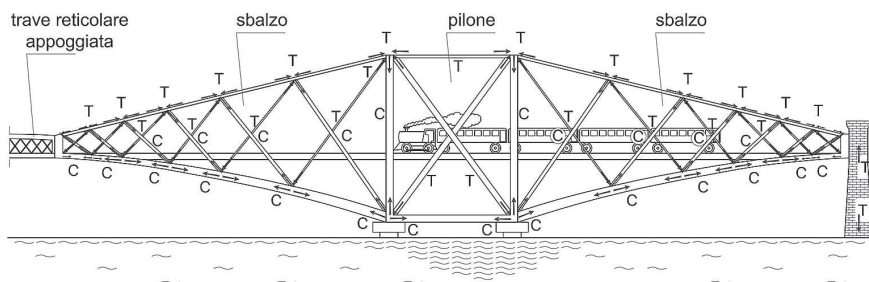


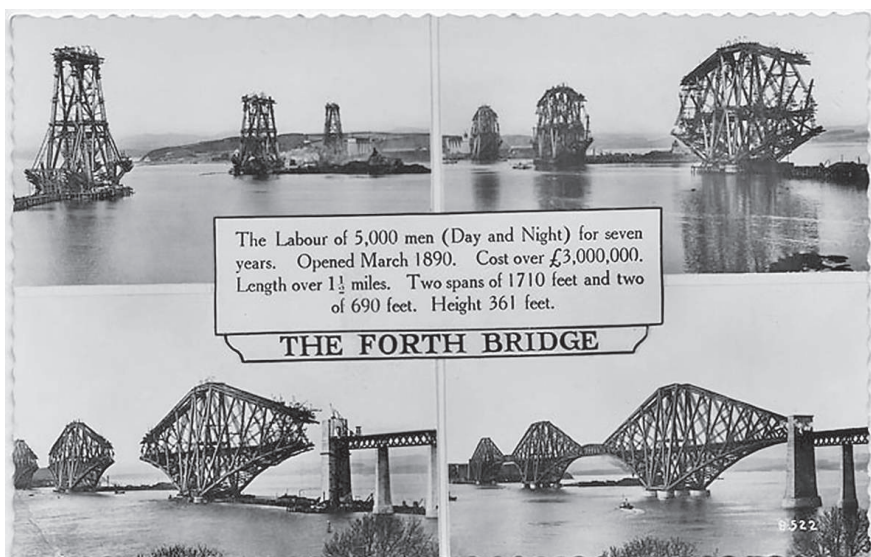
Figura 4.37. Stato tensionale per carichi verticali in campata centrale nel Forth Bridge

Certamente la progettazione dell'opera strutturale sarà stata molto complessa sia dal punto di vista esecutivo (avanzamento a sbalzo simmetricamente ai due lati del pilone, assemblaggio dei pezzi di precisione con rivetti, fondazioni in acqua, ecc.) (figura 4.38) che di calcolo e verifica (carichi viaggianti, vento, azioni dinamiche, stati tensionali nelle lamiere e nelle aste, ecc.), ma l'idea principale ovvero la fase creativa basata sui principi strutturali elementari è

stata *The Human Cantilever*, tale idea è quella che ha consentito la realizzazione di un'opera d'arte diventata un'icona sia per la gente della Scozia che per il mondo intero.



Il ponte prima dell'inserimento della trave reticolare centrale



Cartolina dell'epoca con le fasi operative e dati essenziali

Figura 4.38. Il Forth Bridge all'epoca della costruzione (1883-1890)