

ARMANDO MAMMINO

IL PONTE COME ESPRESSIONE DI CIVILTÀ:
DAL PRIMORDIALE ATTRAVERSAMENTO DEL CORSO D'ACQUA
AL PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



Estratto da:

ATTI E MEMORIE DELL' ATENEO DI TREVISO

anno accademico 2009/2010

1. Premessa

Il ponte, con la sua attitudine a superare un ostacolo naturale ed a consentire agli uomini percorsi altrimenti proibiti, divenne fin dall'antichità depositario di un simbolismo in bilico tra l'umano e il sovrumano, tra il materico ed il magico, come se l'arte edificatoria necessaria per realizzarlo corrispondesse ad un livello di pensiero e di azione superiore rispetto a quel che postulano le altre opere dell'uomo. I ponti che davano continuità alle strade imperiali romane erano costruiti dai Pontifices, appunto gli ideatori e creatori di ponti, ed è un termine rimasto ad indicare una vocazione ed una dedizione sacrali, nella metafora più nota l'istituzione di una via aerea (appunto, ed ancora, un ponte) tra la terra degli uomini ed il cielo degli Dei. In particolare il ponte arcuato, con profilo a dorso di mulo, rimase nell'immaginario collettivo antico come espressione del superamento dei codici naturali osservabili, anche perché la sua primitiva ideazione si sprofonda nella notte dei tempi. Esso infatti era noto anche tra gli Etruschi, ed alcuni mirabili esemplari sono sopravvissuti fino ai giorni nostri, sfidando quasi tremila anni di insulto atmosferico, idrico ed antropico. I Romani quindi rielaborarono e perfezionarono al meglio prototipi e stilemi anteriori, aggiungendovi un apporto fatto di esperienza ingegneristica militare e civile (infrastrutturale), al passo con le conoscenze dell'epoca e nelle metafore morfologiche consentite dai materiali allora in uso. La nozione di ponte è antichissima, e presumibilmente si radica nei primordi della civiltà. Infatti nell'immaginario e nel leggendario di tutti i popoli del mondo, e qui da noi sia nelle Alpi sia negli Appennini, cioè dove gli ostacoli naturali al percorso vitale umano sono per natura numerosi ed imperiosamente stagliati nel territorio, molti miti e molte narrazioni ancestrali, collocati nel tempo del "c'era una volta" e nello spazio universale dei luoghi-simbolo, ci ricordano di ponti fabbricati dal diavolo, tanto erano al di sopra delle possibilità umane, o custoditi da misteriosi spiriti tutelari, a significare la valenza metafisica loro attribuita dalle stupite e timorose popolazioni locali.

Il ponte, punto immobile e rassicurante sostegno di una via, rappresenta l'elemento durevole ed ordinato, contrassegnato da una geometria organizzata, in forte contrappunto avverso il sottostante caos di acque, rapide, gorgi, rocce, precipizi, e domina scenari inaccessibili come connessione realizzata per non isolare, per consentire con stabile equilibrio la mobilità dell'uomo al di sopra del flusso travolgente della natura. Si dice infatti "gettare un ponte": e questo verbo meglio di altri esprime il senso del "superare", del "volare oltre", evocando la soverchiante immagine dell'arco che balza al di là. Nell'archetipo del ponte i percorsi umani ad un estremo confluiscono ed all'altro si diramano, per le mille vie dei due lembi di entroterra: questo pensiero si

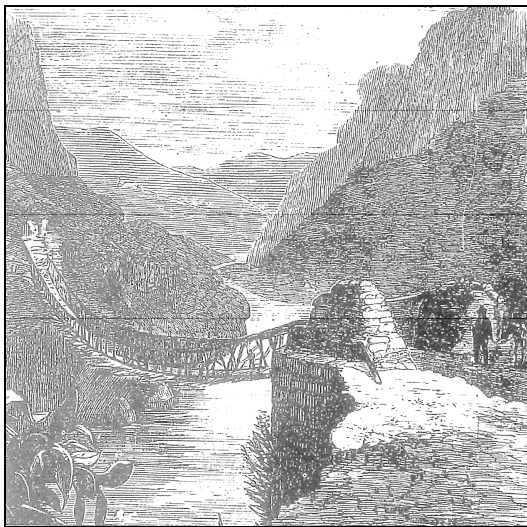
ritrova sia nei ponti rinascimentali, per i quali in molti casi i due muri-bordonale ad ogni sbarco parte per parte divaricavano con duplice tracciato aperto a ventaglio dalla contenutezza della dimensione trasversale della sede stradale pensile alla infinitezza della superficie terrestre innervata da molte vie protese verso svariate direzioni. Si è già detto che il collegio di sacerdoti, perché di sacerdoti si trattava, addetti alla costruzione dei ponti era quello dei “pontefici”, da “*pon-tem facere*”, ed è quanto basta per trasferire un’arte ed una scienza nella sfera religiosa, nel senso che l’uomo capace di realizzare un ponte concretizza un pezzo mancante del creato, al pari della Natura o della Divinità. Sicuramente fu questo l’archetipo filosofico e spirituale, ma anche pratico e rivoluzionario, del superare con materia utile ed organizzata gli ostacoli imposti dalla morfologia del territorio. Tuttavia, perché il ponte passasse dall’arte e dalla divinazione, cioè dalla poesia, all’ingegneria in senso stretto ed alla tecnica in senso lato, si dovette giungere alla fase ideologica dei “*curatores viarum*” romani, i quali, superando il già allora antico ponte a schiena d’asino, a tutto sesto e caratterizzato da elevato rapporto “altezza/lunghezza”, misero a punto il prototipo dei ponti ad arco depresso (ribassato) con ampia luce: una strutturazione in senso scientifico che permise già allora luci libere sino a 36 metri: un risultato portentoso se si pensa che gli ingredienti erano soltanto pietre tenute insieme dai rispettivi pesi e dai reciproci attriti e contrasti. D’altronde l’archetipo dell’arco ribassato romano fu un paradigma europeo per tutto il Medioevo, il Rinascimento e l’Era Barocca (pretecnologica), e poté dirsi superato solo nel corso del diciannovesimo secolo, quando l’introduzione dell’acciaio nelle costruzioni aprì la via al ponte a travata, reticolare o ad anima piena, comunque di grande luce. La vastissima tipologia di ponti che oggi vediamo nelle nostre contrade fa parte della storia recente, e se ne faranno nel prosieguo brevi cenni, fino a delineare caratteri e prerogative delle grandi infrastrutture viarie così avanzate da scavalcare interi bracci di mare. Parallelamente a questo progresso tecnico che ha accompagnato il cammino umano negli ultimi due secoli, hanno resistito al mutare dei tempi i vecchi prototipi e modelli i quali non sono svaniti dal repertorio delle possibilità quasi attuali, od attuali *ad litteram*, bensì han mantenuto un loro campo applicativo nelle interferenze con piccoli corsi d’acqua e/o nelle zone significative da un punto di vista paesaggistico. Ad esempio, il vecchio ponte ad arco in pietra, nelle sue applicazioni tardive, protrasse il suo nobile gesto strutturale sui paesaggi fluviali anche nelle prime decadi del XX-esimo secolo, fino a quando i materiali moderni, acciaio e calcestruzzo, non inaugurarono una nuova epoca dell’Ingegneria. Ancora molti di essi sono in funzione: opportunamente risanati, ricuciti, riconnessi, rifunzionizzati, rivelano una sorprendente vitalità, nel senso di capacità di ulteriore durata della loro vita

tecnica: quella vita inanimata che, mutuata dall'uomo, sembra improntarsi ad un'“etica elementale” come di fedeltà nel servizio reso. Questa straordinaria continuità storica, che si manifesta sia come restauro conservativo sia come costruzione ex-novo di tipo “revival”, rimarca e rievoca il primitivo leggendario del ponte che si perpetua, anche nelle forme più recenti ed ingegnerizzate, su concetti duplici: di spazio – verticale ed orizzontale; di azione – stasi dell'opera nel mezzo del movimento degli elementi; di realizzazione – umana nel mondo reale e divina o diabolica nelle percezioni ancestrali del comune osservatore-utente. Da sempre il “pontefice”, il “costruttore di ponti”, è stato certamente cosciente del contenuto di materia e di umana fatica condensate in un ponte, dal salto su una forra come ai primordi della civiltà fino al prospettato ed agognato Ponte sullo Stretto di Messina: la sfumatura metafisica e poetica è sempre mancata nei soli addetti ai lavori.

2. Breve storia del Ponte

Nelle arcate dei ponti Romani si incontrano tutte le esperienze sviluppate nel mondo antico, dall'arco alla volta, con molteplici materiali da costruzione: pietra, calcestruzzo, laterizio. Anche le forme, per quanto vediamo nelle spettacolari vestigia dell'impero, sono svariate e per lo più attinenti a principi informativi matematicamente ben caratterizzati: archi a tutto sesto, volte a botte, a sesto ribassato o rialzato, ma anche profili ellittici e parabolici, etc.: un campionario di soluzioni statiche che di caso in caso al meglio interpretavano i dettati geografici del luogo e le necessità da soccorrere. Il Ponte Sublicio, il primo ad unire le sponde tiberine, fu voluto da Re Anco Marzio alla fine del 7° secolo avanti Cristo, per come ci tramandano Tito Livio e Dionigi di Alicarnasso. Era un ponte in legno, a differenza degli altri 2000 che i Romani realizzarono nelle interferenze tra le strade imperiali e gli ostacoli naturali dei territori conquistati: sebbene la “cultura della compressione” fosse ben chiara anche nei lavori lapidei arcaici dell'antica Roma, per il Ponte Sublicio era d'obbligo, per ragioni difensive, una radicale e rapida distruggibilità al sopraggiungere del nemico fino alle porte dell'Urbe. Più tipico della tradizione Romana è il Ponte Milvio, costruito lungo il percorso delle vie Emilia e Cassia per oltrepassare il Tevere, fuori dalla cerchia più ristretta della Roma primigenia. Tale avanzata opera rimase in funzione dal 110÷109 a.C., epoca in cui il censore Marco Emilio Scauro la realizzò in muratura ed in sostituzione di precedenti manufatti lignei di pari tracciato, fino al 1849, allorquando Garibaldi la fece saltare per ostacolare l'avanzata delle truppe francesi. Pio IX restaurò il venerabile ponte

nel 1850, e nel 1951 gli fu affiancato il ponte Flaminio che catalizzò la maggior parte del traffico veicolare, fino a che fu ricondotto, alla fine degli anni '70 del XX-esimo secolo, a luogo di passeggiata storica, dimodoché un uso massiccio ed improprio da parte dei mezzi motorizzati non ne determinasse una rapida decadenza. L'elenco potrebbe continuare lungamente: il Ponte di Nona sull'antica Via Collatina, il Ponte Fabricio, del 62 a.C., che collega l'Isola Tiberina alla riva del Tevere in sinistra idrografica; il Ponte sul Marecchia a Rimini, ancora ritenuto un modello di architettura monumentale e decorativa, iniziato da Augusto e portato a termine da Tiberio; il Ponte di Porto Torres in Sardegna, pur esso di età augustea, prossimo alla foce del rio Mannu; etc.. A parte i primi prototipi lignei, correlati espressamente a problemi di strategia militare, i ponti romani attinsero in varie fogge, e con varie concezioni, al ricco repertorio delle forme curvilinee, le quali, da un punto di vista statico, sono particolarmente idonee alla conduzione delle forze, da posizioni pensili verso il recapito al suolo, tramite sforzi di compressione lungo direttrici e flussi non rettilinei.



Ponte sul fiume Pampas sulla strada El Cuzco a Jauja. Perù. 41 metri di luce. Incisioni di E. Squier. 1865; esempio di cultura della “trazione”



Tipico ponte ad arco romano in pietrame: esempio di cultura della “compressione”

Si può dire che i primordi del ponte tipico del bacino del Mediterraneo partono da una “cultura della compressione”, mentre l'identità ancestrale dei ponti primordiali dell'America Latina e di molte zone dell'Asia si articola piuttosto in una “cultura della trazione”, come si vede nei ponti sospesi sopra i terreni fortemente incassati e le profonde forre. A simbolo universale di questa tipologia alternativa valga il ponte sull'Apurimac, ben documentato da un'incisione di Squier del 1845, lungo poco meno di 50 m, espressione massima di una tecnica ben diffusa e

praticata con maestria in tutto l'impero incaico. Le particolari condizioni geografiche del territorio andino obbligarono gli Incas a confrontarsi con il problema dell'attraversamento di numerosi fiumi particolarmente impetuosi. L'arco era loro sconosciuto, e comunque sarebbe stato di scarsa utilità dove le campate necessariamente pensili erano troppo lunghe per un sistema murario arcuato. Per questo gli ingegneri Incas escogitarono il prototipo dei ponti sospesi, per le cui versioni attuali è cambiato il materiale ma non il principio costruttivo. Mentre infatti oggi il materiale univocamente utilizzato per i ponti sospesi è l'acciaio ad alta resistenza, nelle civiltà precolombiane la necessaria resistenza a trazione per il sistema portante veniva ottenuta con l'uso delle fibre di agave, le quali, una volta arrotolate a mano, consentivano di costruire delle funi robuste e capaci di una certa durevolezza (comunque di alcuni anni). Le funi, una volta intrecciate, venivano fatte passare da una sponda all'altra, e ad esse si connettevano altre corde più piccole e subverticali per sorreggere, come corpi sospesi, le passerelle di legno o di canapa intrecciata. La manutenzione di siffatti ponti veniva espletata dalle popolazioni delle contrade più prossime, le quali provvedevano alle riparazioni spicciole ed alla sostituzione delle funi ogni due anni.

Le due culture ingegneristiche, rispettivamente della "compressione" intorno al bacino del Mediterraneo e della "trazione" nei continenti extraeuropei dal territorio accidentato, rimasero pressoché immutate per molti secoli: i ponti rinascimentali europei, come il Ponte di Rialto a Venezia, o il Ponte Vecchio a Firenze, o i turrati ed elaborati sistemi a grandi archi in territorio francese, od i sobri e scientifici attraversamenti fluviali dell'ex-impero asburgico, fino a circa metà ottocento non hanno rappresentato molto di più, in linea concettuale e tecnologica, rispetto a quel che già era stato ideato e codificato dai costruttori dell'Impero Romano. Infatti l'opera "De Architectura", scritta da Marco Vitruvio Pollione intorno al 25 a.C., divenne e rimase il fondamento teorico dell'architettura occidentale, dal Rinascimento fino alla fine del XIX secolo, e dopo un lungo periodo di misconoscenza durato per l'intero Medioevo, durante il quale si sa per certo fossero conservate poche copie spurie e visitate con mero atteggiamento filologico, del tutto a prescindere dal di essa significato di informazione, ed anche di normativa, tecnica, in senso sorprendentemente moderno.

Come per tutte le costruzioni, così anche per i ponti vale la nota "triade vitruviana", cioè la necessità che un'opera fatta dall'uomo e per l'uomo debba soddisfare alle seguenti tre categorie qualitative: *firmitas* (solidità, resistenza, stabilità); *utilitas* (funzione, destinazione d'uso, obbligatorietà di corrispondere ad uno scopo utile); *venustas* (bellezza, corretto inserimento nel luogo).

Parimenti, nelle terre andine o nelle dirupate propaggini Hymalaiane, o nelle giungle asiatiche continentali ed insulari, i ponti con struttura in fibra vegetale stabilivano vertiginosi collegamenti da sponda a sponda su torrenti profondamente incassati e tumultuosi, tali da non poter essere diversamente attraversati, ed era il precorrimento degli attuali ponti sospesi metallici, giunti ad uno stadio di maturità ingegneristica solo durante il XIX-esimo secolo, per poi esprimere il massimo delle potenzialità nel XX-esimo secolo. Sempre a rimarcare il parallelo delle due grandi civiltà del ponte, quella romana e quella incaica, val solo la pena di ricordare che per entrambe la capacità di superare gli ostacoli naturali, con determinazione efficace e disinvoltura, rappresentava una prerogativa di grande valenza geopolitica: nel senso che il popolo costruttore soggiogava i popoli stanziati su territori adiacenti non solo con l'azione militare, ma anche con la semplice suggestione indotta dalla sua capacità di avanzare su opere di ingegneria così ardite, segno di un grado di civiltà molto più avanzato; per l'Impero Romano l'innervamento dei territori conquistati con strade continue anche sopra i corsi d'acqua rappresentava il fattore determinante circa la stabilità del dominio; anche se non ci sono in America Latina fonti scritte per documentare in parallelo questo stato di cose, di cui cronisti e tecnici dell'Impero Romano erano invece coscienti ed acuti teorizzatori, possiamo ragionevolmente ipotizzare che anche per l'Impero Incaico valesse la stessa stabilizzazione dei risultati della conquista bellica tramite la infrastrutturazione delle terre sopraffatte ed aggregate. L'ingegneria militare prima, e l'ingegneria civile dopo, erano dunque i due fattori principali di crescita degli imperi, nel senso che la prima senza la seconda produce risultati effimeri, mentre la seconda, se non preceduta dalla prima, appare praticamente impossibile, o ridotta negli angusti confini originari e perciò senza sviluppo. Lungo le strade, e quindi anche sui ponti, i conquistatori portarono la loro organizzazione e la loro civiltà nelle terre dei vinti, consentendo a questi ultimi quella "contropartita pratica" di benessere e di evoluzione del vivere civile, che rende tollerabile o forsanche gradita la condizione subordinata in luogo della primogenia e selvaggia libertà. A riprova di questa affermazione, si ricordi quanto poco durarono gli imperi di Attila e di Gengis Khan: le orde barbare, abili nella guerra e vincitrici, non antropizzavano i territori assoggettati, sicché nel volger di una generazione o poco più, mancando l'opera di stabilizzazione post-bellica, e perdurando invece "l'alternativa-onnipotenza delle umane sorti", la poco coesa aggregazione statale si sfaldava e l'impero tornava ad essere un mosaico di popoli sempre meno interferenti l'un l'altro, se non per l'eterna contesa degli spazi vitali. In buona sostanza un dominio politico e/o militare che non si cristallizza in opere di ingegneria utili e durevoli, cioè in materia costruita, non può avere lunga dura-

ta, ha la stessa labilità delle parole e del sanguinario clangore della guerra.

Durante l'apogeo dell'Impero Romano, e fino alla di esso definitiva decadenza, tutti i grandi fiumi europei erano stati attraversati da ponti stradali e da ponti-canale (acquedotti), molti dei quali sono sopravvissuti fino ad oggi. Quando i tempi declinarono verso l'Alto Medioevo, e per oltre un millennio fino al tardo Medioevo, non fu più costruito nessun manufatto stradale significativo, sicché si può pensare che anche la stessa arte di costruire ponti andò perduta, o regredì via via verso stadi di tecnologia primitiva fino all'insterilimento culturale ed operativo. Bisogna aspettare il XIV secolo, cioè il pre Rinascimento, perché si accenda un fermento culturale proteso al recupero dello studio delle proporzioni, della percezione delle geometrie costruttive, delle conoscenze sui materiali da costruzione, del senso matematico della morfologia strutturale.

Stava in quell'epoca riemergendo, dalle fonti scritte superstiti e dalle rovine ancora leggibili, il messaggio e l'esperienza dei pontifices romani. Il Ponte Vecchio a Firenze, bell'esempio di manufatto fluviale abitabile ed abitato, oltre che continuità della via di comunicazione, è uno dei monumenti più tipici di questo risveglio, dopo un lungo sonno dell'umanità modulato soltanto sull'onirismo spirituale e sulla rinuncia all'operosità della vita reale.

Sempre collocato tra il Tardo Medioevo ed il Rinascimento è, per citarne uno fra tanti, il Pont Valentrè, sul fiume Lot a Cahors, in Francia, completato nel 1355 dopo una realizzazione durata quarantanove anni. Come in altri ponti europei dello stesso periodo, lo schema archetipo dell'arco, tale e quale già nelle categorie tecniche della Roma classica, si arricchiva in ornamenti (lesene, paraste, bordonali, ricorrenze, etc.) ed in corredi edili (torri, edifici sovrastanti ed aggregati, etc.), sicché la riscoperta della romanità si limitava ad una riproposizione filologica per quanto riguarda la componente strettamente ingegneristica, mentre, per quanto riguarda la componente architettonica disposta a corredo, comparivano innovazioni e "passi avanti" di un certo interesse, più o meno in tutta Europa, e con stili e soggetti-oggetti diversi a seconda di come suggeriva la cultura del luogo. Il ben noto Ponte di Rialto a Venezia va inteso, in questo senso e lungo questo processo, come un'opera più matura: data infatti 1591, ed il progetto, siglato da Antonio Da Ponte, fu preferito a quelli del Palladio, del Sansovino e del Vignola. Durante il sedicesimo secolo in effetti, sia per i ponti, sia per la grande architettura religiosa e civile, si completa e si esaurisce la riscoperta della Tecnica Romana e se ne ritrasmettono i contenuti nella pratica professionale e costruttiva. Si afferma nel secolo successivo l'impulso, dovuto a Galilei, allo sviluppo delle scienze fisiche, e la riconduzione, agli algoritmi definiti nell'ambito di queste ultime, delle regole geometriche, delle proporzioni, dell'esegesi morfologica, che da quasi

due millenni avevano guidato l'architettura e la progettazione delle grandi infrastrutture viarie. L'avvicinamento dell'Arte del Costruire alle Scienze Fisiche prese il suo corso definitivo e fecondo con la Teoria dell'Elasticità proposta *in primis* da Hooke, il quale teorizzò che gli stati tensionali negli elementi strutturali dipendono dalle deformazioni negli stessi definite secondo una legge lineare. Per quanto riguarda lo studio delle azioni sulle costruzioni ebbe rilevanza decisiva la dinamica di Newton, soprattutto attraverso il corretto e generale enunciato del concetto di forza, ed in particolare della gravità terrestre.

Nel XVIII-esimo secolo, dopo l'avvio concettuale delineatosi nel secolo precedente, il corale approfondimento della speculazione epistemologica condusse a poter descrivere e prevedere il comportamento dei materiali e delle strutture attraverso le vie deterministiche della fisica-matematica, anche se rimaneva in auge, affiancandosi e sovrapponendosi alle nuove tendenze, la tradizione più antica basata sulle proporzioni, sulle regole dell'arte, sull'esperienza millenaria del costruire, sui canoni ereditati dai successi e dagli insuccessi del passato.

Il progresso fece a breve passi notevoli, e molto accelerati rispetto al passato, sia per quanto riguarda la possibilità e la capacità di elaborare per ogni struttura, quantunque grande, un modello di comportamento completo, sia per quanto riguarda natura, affidabilità e resistenza dei materiali da costruzione. Realtà naturale e realtà costruita (le opere degli Dei e le opere dell'uomo) vieppiù perdevano quegli aloni di mistero che le avevano in precedenza tenute nel mondo del magico, e si disvelavano sempre più nel profondo agli strumenti di indagine teorici e sperimentali. Lo sviluppo parallelo sia delle tecniche costruttive sia del capitalismo – il quale permise di raccogliere ed impegnare grandi capitali per grandi opere – portarono le costruzioni infrastrutturali, e quindi anche la rinnovata teoria e tecnica dei grandi ponti, ad una dimensione che superava tutti gli apogei del passato. Dalla fine del '700 in poi si costruirono colossali opere di ingegneria, di tipologia, di entità, di impegno statico del tutto inediti ed irraggiungibili anche nel recente passato.

Con la scorta della siderurgia, nasce la carpenteria metallica, ed il commercio di componenti a profilatura standard da collegare per chiodatura, bullonatura, saldatura. È l'epoca, appunto, dei primi grandi ponti metallici, di tipo reticolare e ad anima piena, i quali garantivano notevoli prestazioni: di resistenza nel quotidiano esercizio; di stabilità delle parti a patto che il sistema portante, visto nel suo complesso, fosse di tipo multiplamente connesso (con abbondanza di vincoli interni); di assorbimento senza danno della ciclicità del carico, come per i ponti metallici di ampia luce (leggi: verifica a fatica); di bassa eccitabilità alle vibrazioni, a patto che la frequen-

za naturale libera di pulsazione dell'opera fosse adeguatamente distante, nel valore numerico, dalle frequenze delle azioni esterne cicliche. Per tutta l'Europa, e soprattutto nel Nord (molto più ricco di miniere di materiali ferrosi), si estese la realizzazione di grandi ponti metallici, subito dopo che prese corso la rivoluzione industriale (manufatti di questo tipo diventano possibili se vengono sostanziate da un indotto altamente organizzato di prodotti di serie). Queste tipologie di attraversamento dei grandi fiumi europei erano preferite soprattutto dalle Amministrazioni delle reti ferroviarie: il piano del ferro infatti, se risente solo di modeste deformazioni strutturali in direzione verticale, sostiene il passaggio dei convogli con minor possibilità di deragliamento, cioè di svio delle ruote. Questa istanza, pur nell'ambito delle strutture metalliche ad alta resistenza, induceva a preferire gli schemi statici incentrati su un arco compresso, cioè su una funicolare compressa piuttosto che tesa. Eccellenti opere di questo tipo sorsero in tutta Europa e negli Stati Uniti, al passo con l'intensificazione e la propagazione della rete ferroviaria, lungo la quale si veicolò la fase più feconda e vigorosa della prima civiltà industriale. Gli storiografi delle costruzioni ritengono che il capostipite dei grandi ponti metallici moderni sia l'Iron Bridge, sotteso sul fiume Severn nello Shropshire, in Inghilterra, completato nel 1779 ed inaugurato nel 1781. L'area circostante al ponte è stata una delle prime zone dell'Inghilterra dove, agli albori della rivoluzione industriale, si producevano materiali ferrosi in serie e con modalità ed entità non dissimili da quelle attuali. Il ponte sorse sia per rendere efficienti i collegamenti stradali, vitali per le nascenti attività industriali, sia per dare una dimostrazione concreta delle potenzialità della produzione siderurgica. D'altronde da quest'ultima proveniva, come imprenditore e pioniere, l'ideatore del ponte, John Wilkinson, che dette le linee guida e l'imprinting tecnologico all'architetto Thomas Farnolls Pritchard. Il ponte, tuttora esistente, è utilizzato per il traffico leggero, ed ha una luce libera pari a 30 m ed un'altezza di 12.30 m: ben poco rispetto ai grandi sistemi arcuati che seguirono, allorquando, come già accennato, con la diffusione ed il potenziamento delle ferrovie e della circolazione dei treni di grande massa, emerse la necessità di tenere il più possibile rettilineo e poco pendente il tracciato, tanto che la conseguente scarsa adattabilità di quest'ultimo alle fattezze del territorio comportò il superamento dei grandi corsi d'acqua e delle gole montane in quota e lungo percorsi rigidamente prefissati. A riscontro di ciò, verso la metà degli anni '80 del XIX secolo, cominciò la costruzione delle grandi opere d'arte con struttura in carpenteria metallica ad arco, in sostituzione od in concorrenza rispetto alle equivalenti soluzioni sospese a cavi di profilo concavo verso l'alto. Riemerge qui il binomio trazione-compressione di cui già si è detto, e che sottende versioni opposte dell'arte del costruire.

Si citano solo alcune di queste opere, tra quelle che più hanno segnato la storia delle costruzioni civili: Ponte Garabit, costruito nel 1884 in Francia, sul fiume Truyère, con progetto di Alexandre Gustave Eiffel (progettista anche della celebre torre parigina), incentrato su un arco reticolare di luce libera pari a 165 m; Ponte di Paderno sull'Adda, costruito nel 1889 in Lombardia, con progetto di Julius Rothlisberger, incentrato su un arco reticolare di luce libera pari a 150 m; Ponte Firth of Forth, costruito nel 1890 come congiunzione tra l'Inghilterra e la Scozia, con struttura reticolare a schema statico complesso e scandita da luci libere consecutive di lunghezza 520 m, progettato da Sir Benjamin Baker; Ponte Sydney Harbour, con luce libera 503 m, e freccia di 141 m sul livello del mare realizzato nel 1932; etc..

A partire dagli anni '30 del XX-esimo secolo i ponti di grande luce si orientano quasi esclusivamente verso le tipologie dei "ponti sospesi" (da cavi a catenaria) e dei "ponti strallati" (con sostegni diramanti dalla sommità di antenne portanti di grande altezza). Peraltro i ponti sospesi si erano affermati già nella prima metà dell'ottocento, comunque al passo con lo sviluppo dell'industria siderurgica e della tecnologia dei materiali metallici, ma erano rimasti, ad alterne vicende, perdenti nella concorrenza con altre tipologie più rigide, come, ad esempio, quella già ricordata che fruiva del sostegno di un arco reticolare compresso sotteso lungo la luce libera centrale dell'attraversamento in senso stretto. Il ponte sospeso per definizione non ha una struttura rigida, e nella sua natura statica non è ricompresa una grande rigidità a flessione delle sue parti. L'impalcato viario è sostenuto, mediante cavi "a calaggio", da una grande ed impegnativa struttura primaria portante consistente in una macro-fune ordita, nel piano verticale, secondo un profilo "a catenaria". Quest'ultima geometria esprime la sua capacità di accompagnamento delle forze fino ai recapiti finali proprio perché è il risultato dell'adeguamento di un sistema flessibile alla distribuzione dei carichi dallo stesso sopportati. Per dare un'idea di quali sono le dimensioni di questa fune portante tipica, replicata in due esemplari al di sopra degli altrettanti bordi del piano viabile pensile, si cita quella del Golden Gate, in San Francisco, avente diametro di quasi 1000 mm (un metro), e configurata, in sezione trasversale corrente, come un fascio di trefoli impaccati in assemblaggio col minimo dei vuoti, quasi con sembianze di vespaio. Ogni trefolo è una treccia di fili di acciaio, ad alta resistenza, cioè con quel livello di prestazioni statiche che si ottiene solo con trattamento termico.

Le componenti essenziali sono allora: le funi primarie, con tracciato parabolico nel piano verticale; i calaggi sottesi verticalmente, o sub-verticalmente, dalla fune primaria all'impalcato; l'impalcato sottile, appoggiato passo passo ai calaggi, quindi poco sollecitato (i campi di mo-

mento flettente e di taglio più cospicui nell'impalcato sono definiti più nel senso della larghezza della strada, lungo cui la luce libera è la distanza tra i due ordini di calaggi, piuttosto che nel senso dell'asse stradale, lungo cui la luce libera è la breve distanza tra due successivi calaggi di uno stesso ordine.

La storia dei moderni ponti sospesi inizia tra gli anni venti e gli anni trenta dell'800, in tutta Europa ed in particolare in Inghilterra, quando lo sviluppo della siderurgia fornisce materiali metallici di prestazioni ed affidabilità prima sconosciuti, e quando ancora il progresso della conoscenza nel campo della Meccanica Strutturale e della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni fornisce criteri per la previsione del comportamento dei sistemi portanti complessi.

I ponti sospesi, così come i ponti strallati, consentono all'utenza, ed al contesto in cui si realizzano, i seguenti vantaggi: grande luce, la cui entità è controllata solo dalle potenzialità delle funi primarie configurate a catenaria; elevato franco sottostante, contato a partire dal pelo libero dello specchio idrico, a disposizione per la navigazione, sicché tali opere sono molto appropriate per l'attraversamento di canali e fiumi molto larghi, di bracci di mare, comunque di grandi specchi d'acqua navigabili; composizione con materiali ad alta resistenza; avanzata tecnologia di montaggio. Si elencano alcuni esempi: Ponte sullo Stretto di Menai tra l'isola di Anglesey e le coste nord-occidentali del Galles, realizzato nel 1826, su progetto di Thomas Telford, con luce libera 176 m, larghezza 9 m, altezza sul mare 30 m; Clifton Bridge, in Gran Bretagna, sul porto industriale di Bristol, eternato dal pittore Samuel Jackson (come già avvenne per il celebre ponte apribile fissato sulla tela da Van Gogh), con campata libera maggiore estesa per 214 m e lunghezza totale 414 m, larghezza 9.5 m, realizzato tra il 1831 ed il 1864 da Isambard Kingdom Brunel. Di questa prima generazione di ponti sospesi fa parte anche il Ponte Real Ferdinando, primo in Italia, sul Garigliano, in Campania, realizzato tra il 1828 ed il 1832: segno che, contrariamente al dettato convenzionale della storia ufficiale, il Regno Borbonico non era né arretrato né inerte di fronte alle nuove tendenze dell'industria e delle professioni. Lo volle il Re Ferdinando di Borbone, ed incaricò in tal senso l'Ing. Luigi Giura, con lo scopo di dare continuità alla Via Appia in corrispondenza del confine tra il Regno di Napoli e lo Stato Pontificio. La luce libera è pari a 85 m. L'Ing. Giura era ispettore del Reale Corpo di Ponti e Strade, in un'epoca in cui il regno borbonico era al passo, per quanto riguarda le potenzialità tecniche, con i grandi stati europei. Da un punto di vista dettagliato il progetto dell'Ing. Giura rappresentava un passo avanti rispetto agli analoghi che si redigevano e realizzavano in Europa, anche se la tecnologia, nella scala dell'opera complessiva, era al passo col generale stato dell'arte a quell'epoca.

L'esecuzione durò 4 anni, per un costo complessivo di 75000 ducati, meno della metà di quel che era stato ipotizzato a base di appalto (un esempio di "*bona gestio*" delle opere pubbliche da paragonare con quel che succede ai nostri giorni).

La prima generazione di ponti sospesi ammetteva come struttura primaria catene o piatti (questi ultimi o chiodati o bullonati). In fatto di resistenza e di affidabilità questa soluzione si evidenziava come un limite, ed è forse a ragione di ciò che lo sviluppo dei ponti sospesi non fu lineare nel tempo, bensì scandito da corsi e ricorsi, fino all'estremo sviluppo negli ultimi cento anni. In effetti la seconda generazione di ponti sospesi ammise come struttura primaria le funi metalliche, e la saldatura come connessione delle parti di carpenteria inflesse, o compresse, od a bassa trazione. Invece le direttrici ad alta trazione, come le funi portanti principali ed i calaggi a sostegno dell'impalcato, si ancorano reciprocamente ed a terra con equipaggiamenti specifici per i sistemi a fili paralleli costituiti da materiale metallico ad alta resistenza (non saldabile, ma sensibile alla vincolazione assiale per serraggio attritivo). Le massime espressioni costruttive, per la tipologia dei ponti sospesi, presero consistenza in territorio statunitense, laddove, come detto, esisteva una cultura antica della trazione, radicata nelle tribù autoctone, anche se la tecnologia partì dall'Europa per poi trovare nel nuovo mondo una risonanza istintiva nelle genti che avevano visto altre ideologie costruttive rispetto agli archetipi radicati nel passato del vecchio mondo. Si citano brevemente: il Ponte di Brooklyn, completato nel 1883, su progetto dell'ingegnere di origine tedesca John Augustus Roebling, avente lunghezza della campata principale pari a 486 m, lunghezza totale 1058 m, larghezza 26 m, tuttora in esercizio; il Ponte George Washington, completato nel 1931, sotteso sul fiume Hudson a New York, avente lunghezza della campata principale pari a 1067 m, lunghezza totale 1450 m, larghezza 36.3 m; il Golden Gate Bridge in San Francisco, finito nel 1937, avente lunghezza della campata principale pari a 1282 m, lunghezza totale 2737 m, larghezza 27 m. Quelli citati sono solo alcuni. Ne furono costruiti numerosissimi. Una battuta d'arresto nella diffusione dei grandi ponti sospesi, peraltro idonei alla scala con cui nel territorio statunitense si presentano gli ostacoli naturali, venne drasticamente imposta dalla in apparenza spontanea autodistruzione del Tacoma Narrows Bridge, con luce di 853 metri, costruito nel 1940 su progetto di L.S. Moisseiff. Il disastro avvenne per fenomeni di aeroelasticità, dei quali si parlerà nel seguente paragrafo, allorquando soffiò con persistenza un vento di moderata entità, nell'ordine dei 68 Km/h. Un fotografo filmò tutti i sussulti flessotorsionali del ponte, via via più esaltati in conformità alla fenomenologia dell'eccitazione indotta da pulsanti esterne in regime di risonanza tendente al caos, ed il documento fece il giro

del mondo, e permise di gettare le basi di tutti gli studi successivi sull'interazione tra l'aria in movimento e le grandi strutture.

In effetti la statica e la dinamica delle costruzioni hanno radici concettuali differenti, e non si può rappresentare un fenomeno di un tipo con un modello ricondotto ad un fenomeno dell'altro tipo: troppo spesso nel passato si è rappresentata una forzante ciclica con un'azione statica equivalente, e, dualmente, un movimento strutturale ciclico con una deformata stazionaria. Questo passaggio comporta un grave travisamento della natura del problema, al quale non può che conseguire un comportamento strutturale diverso dalle previsioni. Il sisma per tutte le costruzioni, e l'aeroelasticità per i ponti ed, in genere, per le strutture snelle, sono azioni esterne di tipo dinamico che non possono essere tradotte in un equivalente statico. A quell'epoca peraltro il problema non si poneva in termini di travisamento concettuale sui principi dell'interferenza dell'opera con il contesto esterno, bensì fu banalmente l'epilogo di una fallace tendenza ad assottigliare l'impalcato fino a quando la frequenza di oscillazione naturale libera della struttura venne portata nei ranghi dei valori della frequenza di distacco dei vortici di Von Karman, a valle del profilo, la quale si associa mediamente a correnti d'aria altamente probabili. Per commentare questo disastro, come tanti altri che costellano la storia delle costruzioni, val la pena di ricordare quel che disse Leonardo Da Vinci alla fine del '500, quasi al termine della sua vita: *“Chi si innamora di pratica senza scienza è come lo nocchiero senza timone o bussola, che non sa mai dove si vada”*.

Oggi il problema è noto, e si conoscono i ranghi dimensionali in cui devono postarsi le varie parti del ponte affinché i naturali fenomeni di aeroelasticità non portino in risonanza la struttura: analisi doverosa per tutti i ponti sospesi che sempre di più in tutto il mondo si costruiscono per coprire grandi luci su fiumi laghi e stretti marittimi.

Ci si è dilungati sui ponti sospesi, più che sulle altre tipologie, perché a questa categoria appartiene la versione attuale, ormai destinata (ci si augura) alla realizzazione, del ponte a cui ci si dedicherà nell'ultimo paragrafo: il ponte sullo Stretto di Messina. Già si è accennato, peraltro, ai ponti strallati, che rappresentano l'altra categoria di ponti di grande luce, con un massimale di luce libera pari a circa 1800 metri, mentre, per i ponti sospesi il limite fisico, allo stato attuale della tecnologia, sembra essere pari a poco più di 3000 metri, appunto la luce libera maggiore del ponte sullo Stretto di Messina. I ponti strallati rappresentano comunque un'espressione della cultura della trazione, ma, da un punto di vista storico, impersonano una concezione più recente rispetto a quella dei ponti sospesi: i più antichi di essi infatti, se si escludono poco rilevan-

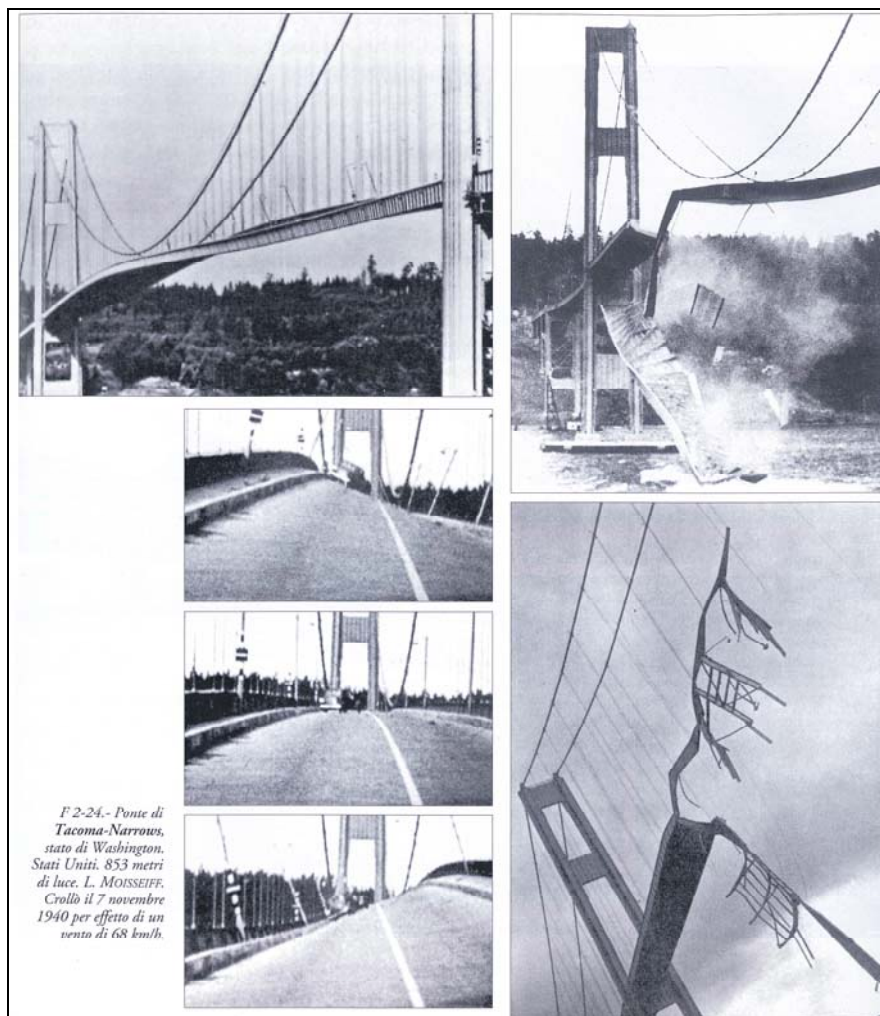
ti precorriti, risalgono agli inizi degli anni '50 del XX-esimo secolo. Il ponte di Strömsund in Svezia, con luce di 183 metri, costruito nel 1955, può essere considerato il primo esempio di sistema strallato moderno. Poi lo sviluppo tecnologico e la diffusione furono rapidi, assecondati dal fatto che, a parità di luce libera, il ponte strallato costa meno del ponte sospeso.

Per ragioni di spazio editoriale, non ci è possibile soffermarci ed enumerare e descrivere tutte le altre innumerevoli categorie di ponti metallici: quello a travata, semplice, economico, molto diffuso, esteticamente poco significativo, realizzabile a campate separate od in continuità statica, con soletta in calcestruzzo armato od in piastra ortotropa di acciaio, capace di raggiungere luci libere fino ad oltre 120 m; quello ad arcotelaio, elegante, di costo sostenibile, piuttosto raro, interamente metallico, con soletta in piastra ortotropa di acciaio, capace di raggiungere luci libere fino ad oltre 300 m; quello a travata reticolare, molto usato in passato per gli attraversamenti ferroviari, con la strada ferrata e la sagoma di transito dei convogli collocate nell'altezza strutturale, configurato con sezione trasversale chiusa, cioè col sistema reticolare piano ordito su tutti e quattro i lati dell'ingombro parallelepipedo, leggero più di ogni altro possibile schema a parità di luce libera e di carico, per lo più inteso come mera espressione meccanica e senza esigenze estetiche, ma non disgiunto da un certo fascino figurativo come segno del luogo.

Il ponte in calcestruzzo è più tardivo, e si sviluppò dal ceppo del ponte in pietra replicandone la forma, essendo chiaro al progettista che il calcestruzzo è a tutti gli effetti una pietra artificiale, sicché ad esso si può applicare la vecchia esperienza dei lapicidi senza rischio di errori gravi. I primi ponti ad arco di calcestruzzo venivano rifoderati di pietra, perché le sembianze esterne fossero secondo gli stilemi formali consentiti da quest'ultimo materiale, e ciò in conformità al pregiudizio secondo cui la dignità del materiale naturale è di valenza superiore rispetto al prodotto dell'industria umana. A buon conto, nell'Italia degli anni '30 del XX-esimo secolo, all'epoca delle sanzioni per l'aggressione all'Etiopia perpetrate dalla "Società delle Nazioni", furono portati alle estreme conseguenze tutti i possibili ritrovati per costruire grandi opere con molto calcestruzzo e poco acciaio, il primo lautamente producibile anche con le risorse naturali del nostro paese, il secondo invece facente parte della serie delle merci di importazione negate e non reperibile in quantità sufficiente nel nostro sottosuolo minerario. Furono eseguiti principalmente in Italia ma anche all'estero ponti in calcestruzzo, appartenenti alle seguenti categorie: ponti a travata, a campate sia isostatiche sia connesse in continuità, prima in calcestruzzo armato semplice, nei pochi decenni anteriori al secondo conflitto mondiale, e poi in calcestruzzo armato precompresso nel periodo post-bellico, con luci massime raggiungibili pari a 30-40 me-

tri per i sistemi “a fili aderenti” ottenuti per prefabbricazione in stabilimento specializzato, ed oltre 100 metri per i sistemi a cavi post-tesi realizzati in opera; ponti ad arco inferiore, ad arco superiore, o ad arco-trave: in quest’ultimo caso l’arco può sottendere vuoti inferiori molto estesi, anche alcune centinaia di metri, e sorreggere sull’estradosso i pilastri che in sommità accolgono l’impalcato, con intercolumni allora limitati perché ne resti minimizzato il costo dell’impalcato stesso ed il più possibile diffuso il carico sull’arco (la meccanica degli schemi statici curvilinei in effetti è più penalizzata da pochi carichi concentrati molto intensi che non, a parità di risultante, da distribuzioni di numerosi carichi minori tendenti complessivamente alla nozione di carico distribuito); ponti a telaio e ad arcotelaio, replicanti, nella configurazione generale, gli equivalenti modelli in acciaio; ponti ad arco con via intermedia, capaci di bilanciare il campo di sollecitazione sì da renderne confrontabili i massimali di segno opposto, e quindi sottendibili su luci libere anche notevoli; ponti strallati in calcestruzzo armato semplice, peraltro estremamente critici negli stralli, i quali, dove realizzati pur essi in calcestruzzo, si sono fessurati e sono andati in degrado durante pochi decenni tanto che si dovette sostituirli, come nel Viadotto Polcevera a Genova e nel ponte sullo Wadi Cuf in Libia; etc.. Con ogni evidenza la storia del ponte dovrebbe estendersi per un numero di pagine impressionante, ed è inevitabile che, nei limiti di un articolo, si possa al più esprimere poche chiavi di lettura per quel che si può leggere sulla stampa e guardare *de visu* nel territorio. Si vuole allora concludere con un tema di attualità, il ponte sullo Stretto di Messina, traguardandolo attraverso i pregressi storici prima narrati, ed è l’argomento del paragrafo 3.

Un solo pensiero va espresso al termine di questa digressione storica: l’analogia tra l’evoluzione di un essere vivente, anche dell’uomo, e l’evoluzione di una creatura inanimata dell’uomo, come è appunto il ponte o l’automobile, prodotta in grande numero di esemplari e per un tempo molto lungo. Guardando in ordine di tempo molti esemplari dell’oggetto “ponte”, se ne scopre un filo conduttore scandito dai secoli e dalle generazioni, e si ravvisa come geometria esteriore, anatomia interna, materiale costitutivo passo passo si evolvono, per piccoli passi e con continuità, dagli archetipi primordiali fino alle concezioni attuali.



Il crollo del ponte di Tacoma Narrows a causa di mancata valutazione dell'interferenza aeroclastica tra la sagoma sospesa e la corrente d'aria

L'uomo di oggi si sente il risultato dell'evoluzione, come l'uomo di domani tale si sentirà a sua volta. Così i tecnici di oggi percepiscono i ponti in costruzione nell'arco della loro vita come il risultato ultimo dell'evoluzione del ponte: ma tutti sappiamo che non è così, e che si affermeranno via via nuove forme e nuovi materiali fino a che ci sarà civiltà. Ma, per il momento, possiamo illuderci di essere al capolinea dello sviluppo e guardare con occhio critico quello che a ragione si potrebbe ritenere l'estremo limite dello sviluppo ingegneristico del concetto stesso di ponte, appunto il ponte sullo Stretto di Messina, il quale rappresenta il massimo dell'impegno statico che sia mai stato raggiunto a cavaliere di uno specchio d'acqua: infatti esso si posta al limite fisico attuale delle potenzialità oggettive dei grandi sistemi sospesi. Supponiamo allora di disporre in una sequenza cronologica, uno dopo l'altro, i progetti di tutti i ponti sospesi che sono stati realizzati, e di guardarli nel loro ordine con progressione monotona: percepiremmo piccole differenze tra ciascuno ed il successivo, ma grandi mutazioni tra il primo e l'ultimo, o tra due qualunque distanti nella seria storica. Parimenti, se in una genealogia di esseri viventi cer-

cassimo delle differenze tra due generazioni, troveremmo solo quelle che si inquadrano nella naturale varietà degli individui nell'ambito della stessa specie; se invece cercassimo delle differenze tra individui che distano un grande numero di generazioni, allora percepiremmo gli effetti dell'evoluzione della specie. L'uomo allora, in questo suo indurre nelle sue opere una capacità di mutamento filosoficamente analoga a quella degli esseri viventi, si appronta quasi come un "creatore su delega": oppure, per riportarci agli aforismi introdotti nella premessa, interviene sul paesaggio dove in questo manca una parte, c'è una lacuna nei percorsi possibili, c'è un limite nelle forme del mondo inteso come habitat: costruire è allora realizzare i pezzi mancanti del creato primogenio.

3. Il Ponte di Messina

Nella memorabile opera di Piercarlo Jorio, "Acque, ponti, diavoli nel leggendario alpino", Priuli & Verlucca editori, 1999, leggiamo il seguente aneddoto a mezza via tra lo storico ed il fiabesco: "*San Francesco da Paola, fondatore dell'Ordine dei Minimi e dal secolo XVII patrono dei marinari e dei navigatori, è venerato per un miracolo compiuto nello Stretto di Messina quando, stendendo come un ponte il proprio mantello sulle onde agitate da una furiosa tempesta, consentì ai suoi compagni di passare da una sponda all'altra*". È una leggenda che esprime, coi toni della fantasia e della fede, un antico "bisogno di ponte" per questo braccio di mare poco largo, ma molto profondo e turbolento, tanto da suscitare miti classici come quello dei mostri Scilla e Cariddi, o la metafora di una Sicilia "azzoppata", perché uno dei tre pilastri su cui essa si reggerebbe, ed affacciato, appunto, sullo Stretto, si sarebbe rivelato consunto ed instabile agli occhi increduli di "Colapesce" giunto in apnea nelle estreme profondità per ordine del suo crudele sovrano.

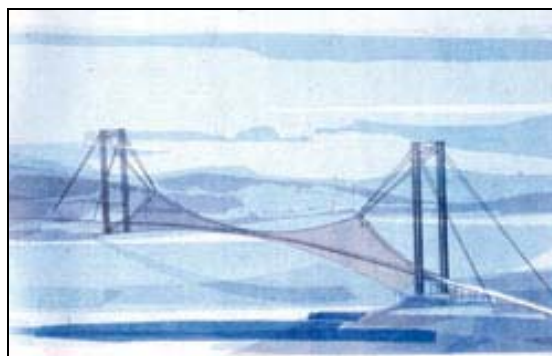
L'elemento stabile sopra il caos dei gorgi e delle onde, pensile sugli abissi e sul tormento geologico del fondale, rimane anche per questo controverso tema attuale dei Lavori Pubblici il principio informatore archetipo della nozione di ponte, l'essenza elementare intorno a cui si concrezionano le molte e sempre più vaste conoscenze dell'Ingegneria. Queste ultime legittimano, rivestono e rafforzano "a posteriori" l'istinto primordiale dell'uomo costruttore, spostandone e modificandone invero di poco l'indole e la natura, come se esse stesse si imponessero in termini di completamenti di forma più che di sostanza, nei termini che Pier Luigi Nervi ebbe a rilevare nei pochi scritti che ci ha lasciato (cfr: "Scienza o Arte del Costruire?").

Ma questo "bisogno di ponte" in molte occasioni è ricomparso nelle alterne vicende di un

troppo lungo dibattito pubblico. Già nel periodo risorgimentale fu posto, dai primi governi liberali, il problema di congiungere la Sicilia con l'estremità peninsulare in maniera stabile, rapida e sicura, aggregando senza soluzione di continuità le ferrovie sicule con quelle calabresi. Già nel 1866 si fecero i primi studi per un ponte sospeso o galleggiante atto a collegare le due sponde dello Stretto di Messina. Dieci anni dopo s'interessò alla questione la Camera dei Deputati, dal cui consesso l'allora ministro dei Lavori Pubblici Zanardelli espresse l'aforisma secondo cui "*o sopra i flutti, o sotto i flutti, la Sicilia sia unita al continente*". Ma gli anni trascorsero senza che la desiderata congiunzione si concretizzasse come realtà costruita. In attesa che l'evoluzione delle tecniche ed una più favorevole situazione finanziaria consentissero di adottare soluzioni "perfette", si predispose intanto il servizio delle navi-traghetto per far transitare i vagoni, carichi di merci e di passeggeri, così evitando i lunghi e fastidiosi passaggi duplici di carico e scarico, ma solo il 02 agosto 1896 il primo ferry-boat vero e proprio divenne operativo, poi seguito da altri per un avvicendamento sempre più intensivo e per tempi di attesa sempre più ristretti. Comunque questo espediente si intendeva come una soluzione provvisoria, da attuarsi cioè in attesa di trovare i fondi per la costruzione di un ponte lungo il tragitto di minor lunghezza sotteso tra la Sicilia e l'estremità peninsulare. A ben vedere, dopo quasi un secolo e mezzo siamo ancora in regime di provvisorietà, sebbene la tecnologia dei grandi ponti sospesi abbia raggiunto livelli ben al di sopra di quello minimo necessario per scavalcare lo Stretto. Già i Romani dell'Impero, nella loro pratica e lucida visione della logistica militare e civile di cui abbisogna un popolo vittorioso, avevano pensato ad un ponte sullo Stretto fatto di natanti ancorati alle rive, con ciò anticipando di duemila anni un'istanza rimasta ancora negletta, nel limbo del dubbio. L'idea dei tecnici dell'Antica Roma era al tempo stesso banale ma condizionante: la presenza di un ponte su pontoni galleggianti avrebbe infatti impedito il passaggio delle navi lungo lo stretto. Si narra che i generali fossero riusciti a far transitare le truppe su un ponte di barche e botti. Il tentativo è documentato da Plinio il Vecchio (251 a.C.), il quale attribuisce quella singolare costruzione militare al Console Lucio Cecilio Metello, e sicuramente si trattava di una via ben concepita e realizzata se, come dicono le fonti, vi poterono passar sopra 140 elefanti catturati ai Cartaginesi.

Nonostante i buoni propositi di vari regnanti nel corso dei secoli, le condizioni ambientali dello Stretto, caratterizzato da fondali marini irregolari, molto profondi, geologicamente tormentati, e percorso da tumultuose correnti, da forti venti e da intensi eventi tellurici (basta citare quello del 1908), hanno implicato che la costruzione di un ponte transmarino sia sempre rimasta una utopia ingegneristica, una sfida eccessiva per il sapere umano. Ecco perché oggi, pur

non essendo ancora concreta, ancorché dichiarata, l'intenzione di realizzare tanta opera, si ritiene che il progetto si posta nello stadio più avanzato della filogenesi dell'“organismo ponte”. Sebbene nel mondo, come anche si è detto nel paragrafo 2, il sistema strutturale sospeso si evolvesse rapidamente verso esemplari sempre più lunghi nella tratta libera centrale, fino alla metà del XX-esimo secolo non furono prospettati progetti degni di nota, e la stessa “idea di ponte” doveva misurarsi in concorrenza con l'“idea di tunnel sottomarino”.



Ponte sullo Stretto di Messina – versione dell'Ing. Sergio Musmeci

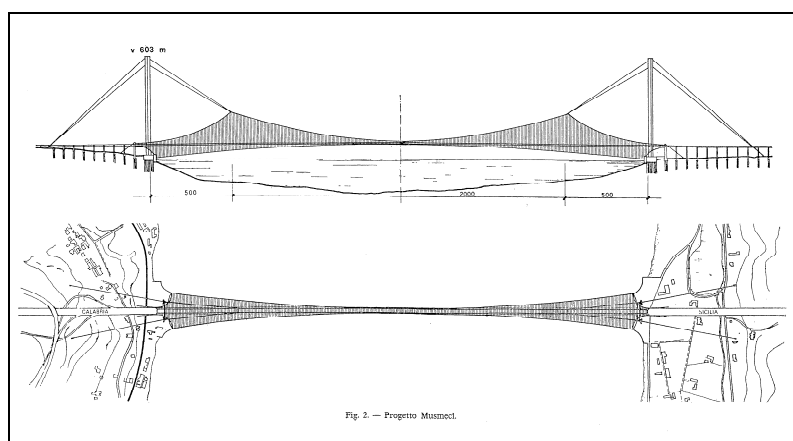


Fig. 2. — Progetto Musmeci.

Ponte sullo Stretto di Messina – versione dell'Ing. Sergio Musmeci

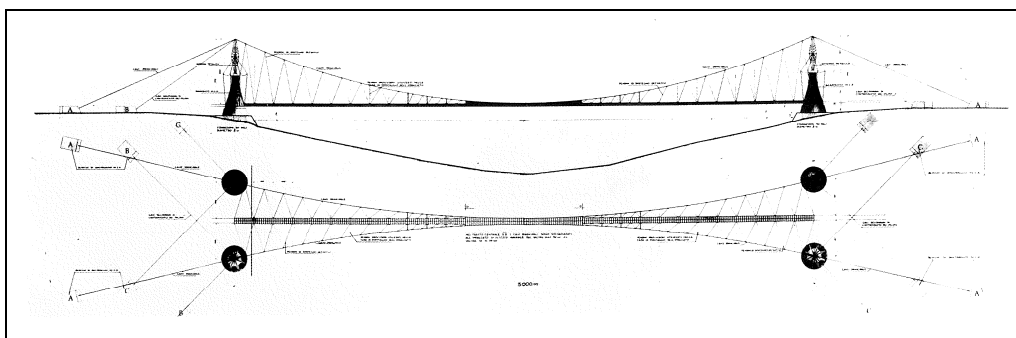
Il binomio “ponte o tunnel” fu ben circostanziato dall'Ing. Fausto Masi in “Il problema della comunicazione fra Sicilia e Continente e la costruzione di un ponte sullo Stretto”, in “Costruzioni Metalliche”, n. 3, 1951. Si dice nel merito: “... *basti riflettere?*” sul fatto che il ponte “*dovrebbe essere situato a circa 50 m sull'acqua per consentire il passaggio delle navi più grandi, mentre il tunnel dovrebbe essere scavato a circa 150 m sotto il livello dell'acqua, data la profondità dei fondali. Ne risulta che, per la soluzione con tunnel, occorrerebbero opere di accesso tre volte più lunghe che per quella con ponte, e che si svilupperebbero pure in galleria, con notevole aumento di spesa, oltre che con sensibile allungamento del percorso*”.

In effetti, dagli anni '50 del XX-esimo secolo in poi, l'ipotesi del ponte ebbe a prevalere sull'ipotesi del tunnel sottomarino, sebbene si registrò, per quest'ultima, un ritorno di pensiero

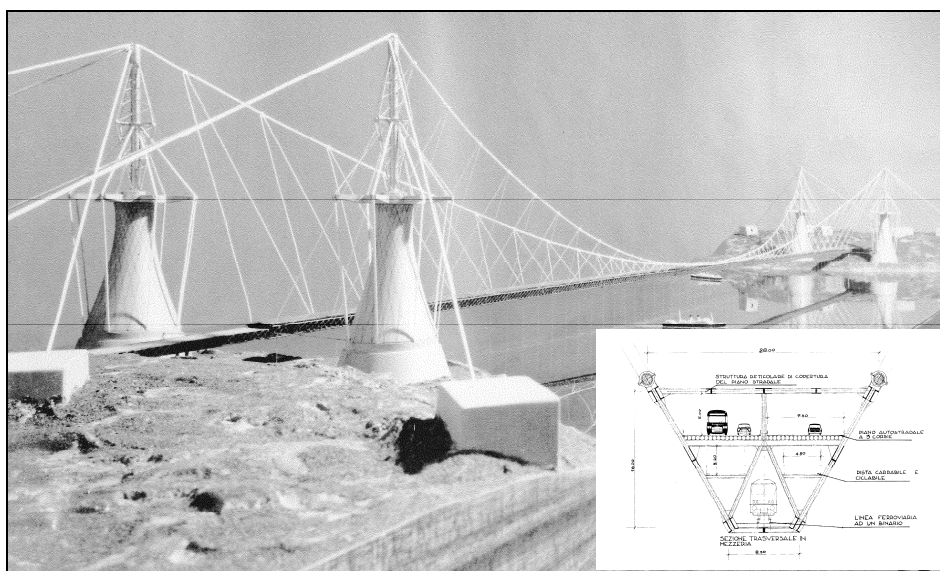
nella proposta dell'Ing. Silvano Zorzi, il quale configurò un sistema cilindrico sospeso in acqua, ancorato al fondo, e precompresso sia nella sezione direttrice circolare sia lungo le generatrici rettilinee. Molti dubbi rimanevano invece a riguardo della sicurezza civile in una struttura così concepita, sicché non ci fu, in tal senso, nessun seguito. Per quanto riguarda invece il tunnel sottomarino, certamente più realistico e più sicuro di quello sospeso in acqua, oltre alle giuste considerazioni di Fausto Masi, va rimarcato il fatto che la geologia leggibile nel fondale dello Stretto di Messina e nelle due sponde da congiungere appare afflitta da una tettonica attiva ed infida che prefigura uno scenario ben diverso da quello in cui, sotto la Manica, ha trovato tranquilla collocazione la galleria di collegamento ferroviario tra Francia ed Inghilterra. Infatti la Regione dello Stretto è interessata da una complessa tettonica a faglia con carattere distensivo, corrispondente ad una struttura di "Graben-in-Graben" (il Graben è una "fossa tettonica", ovvero una porzione di crosta terrestre sprofondata a causa di un sistema di faglie dirette, in regime di trazione del contesto stratigrafico coinvolto; se dalla depressione attivata da un primo Graben scende verso il basso una fascia ristretta più interna, ne nasce un sistema a livelli multipli, controllata da almeno 4 faglie, corrispondente alla su-evidenziata denominazione), generatasi in due fasi distinte durante gli ultimi 2 milioni di anni; la seconda fase, che perdura ancora, ha dato origine allo stretto attuale; tutte le faglie, principali e secondarie, sono attive e quasi tutte dislocate in ambiente marino. La tettonica attiva si manifesta con movimenti orizzontali di allontanamento e verticali differenziati (sollevamento e basculamento) delle due sponde. A scala geologica (10^5 anni) questi movimenti sono al massimo pari ad 1 mm/anno, ma, in caso di grandi eventi sismici, si possono avere spostamenti subitanei, soprattutto verticali, anche di 1÷2 m, come in occasione del terremoto del 1908. Va da sé che, in queste condizioni, un tunnel sottomarino sarebbe troppo in balia degli eventi naturali per quanto riguarda la sicurezza degli utenti. Infatti una galleria è una struttura intimamente collegata al terreno, avvolta dallo stesso, sicché tutte le vicende deformative o di rottura che riguardano l'elemento avviluppante si trasmettono al rivestimento senza mediazione. Pertanto il rischio di rottura improvvisa in condizioni sismiche, o di fessurazione grave e di interdizione all'esercizio nell'arco di pochi anni, va visto come grave ed imminente. Semplicemente, per queste ragioni, si dovette concludere che il tunnel non è una soluzione adatta al caso di specie.

Anche la proposta di Silvano Zorzi a riguardo del tunnel sospeso in acqua ed ancorato al fondo avrebbe dovuto fare i conti non solo con le persistenti forti correnti tipiche di qualunque stretto sotteso tra mari lungamente scollegati oltre le due sponde e quindi presumibilmente sfa-

sati nel moto ondoso, nelle maree e nel livello medio, ma anche col fenomeno dello “tsunami”, qui con tempo di ritorno abbastanza breve, e con onde di alcuni metri di altezza (11.7 m in occasione del terremoto del 1908). La variabile geologica è ovviamente importante anche per la soluzione con ponte sospeso, ma meno proibitiva di quanto si abbia nella soluzione con tunnel. Peraltro in condizioni tettoniche e sismiche estreme furono realizzati i giganteschi ponti della Baia di San Francisco, a partire dal Golden Gate, ed i problemi imposti da questa contestualizzazione critica, tra l'altro anche da un punto di vista meteorologico, furono affrontati e felicemente risolti.



Ponte sullo Stretto di Messina – versione dell'Ing. Pier Luigi Nervi



Ponte sullo Stretto di Messina – versione dell'Ing. Pier Luigi Nervi

La ripresa degli studi sul Ponte a cavaliere dello Stretto di Messina, dopo il secondo conflitto mondiale, coincise col progetto dell'Ing. David B. Steinman, commissionato nel 1950 dall'Associazione fra i Costruttori in Acciaio Italiani, ed era abbastanza dettagliato perché si potesse formulare un computo metrico estimativo. Il ponte era dunque perfettamente realizzabile con riferimento allo stato dell'arte del 1950. Era prevista una luce centrale di 1524 m, la mag-

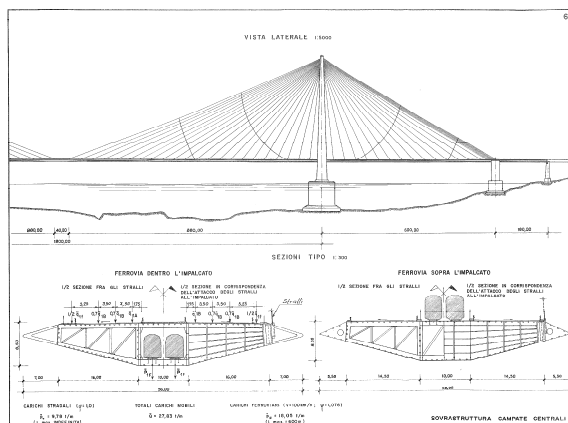
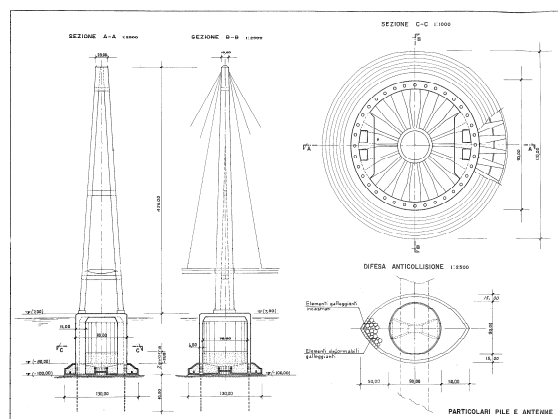
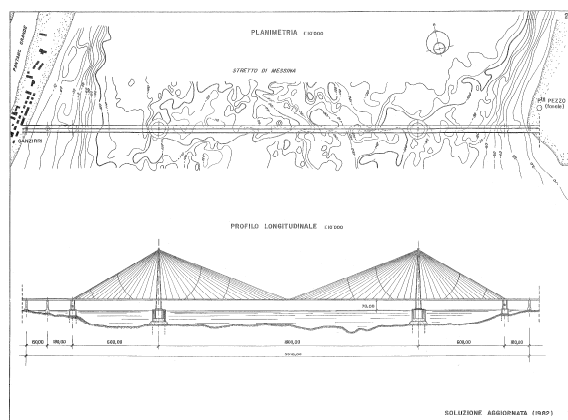
giore fino ad allora realizzata, e due luci laterali di 732 m, per una lunghezza complessiva di 2988 m. Quel ponte, nel 1951, sarebbe costato 55 miliardi di lire, cifra sicuramente importante nei confronti delle finanze dell'Italia di allora, ma assai meno di quanto sono le cifre prospettate per lo stesso ponte attualmente *in itinere* nei confronti delle finanze dell'Italia di oggi. Concludeva Fausto Masi, insigne studioso di grandi strutture metalliche, con le seguenti parole: *“il collegamento continuo fra Sicilia e Continente sarà ben presto una assoluta necessità, ed esso non potrà essere effettuato che a mezzo di un ponte. Quest’opera grandiosa sarà realizzata dai nostri figli o vorrà la nostra generazione, con visione ampia del problema, addossarsi l’onore e l’onere di essa?”*. Era profetico il dubbio: sono oggi anziani coloro che nascevano quell’anno, e due generazioni sono passate sulla scena del mondo senza che concretamente si pensasse di realizzare il Ponte sullo Stretto di Messina. Non ci sono ragioni per esser certi che il fermento attuale a riguardo sia reale intenzione politica.

Basandosi sul progetto di Steinman, nel 1955 la Regione Siciliana commissionò alla Fondazione Lerici del Politecnico di Milano, nelle persone di Luigi Solaini e Roberto Cassinis, uno studio geofisico allo scopo di verificare la natura delle formazioni geologiche presenti tanto sulle sponde quanto sul fondo dello Stretto. La geologia del luogo era stata già molto studiata, come si evince dal testo presentato dal Prof. Raimondo Galli nel congresso dell’Accademia Nazionale dei Lincei, 4÷6 luglio 1978, “L’attraversamento dello Stretto di Messina e la sua fattibilità”, recante il titolo “Geologia e Sismotettonica dello Stretto di Messina”, in calce al quale si elencano scritti presi a riferimento e distribuiti tra il 1880 ed il 1978, e contributi basillari datati nei primi decenni del ’900. Il quesito posto dalla Regione Siciliana era la determinazione dello spessore e delle caratteristiche meccaniche dei sedimenti e del basamento cristallino, quali identificati localizzati e classificati nell’ambito di un rinnovato rilievo geologico effettuato dal Servizio Geologico d’Italia. Le proprietà geomeccaniche tanto dei sedimenti quanto del bedrock cristallino risultarono modeste fino a parecchie centinaia di metri sotto il piano di campagna e sotto il fondo dello Stretto. Questo referto ed altri problemi di carattere amministrativo tennero fermo il procedimento fino al 1969, allorquando il Ministero dei Lavori Pubblici bandì un “Concorso Internazionale di idee” per un progetto di attraversamento stabile stradale e ferroviario dello Stretto, nel quale trovassero spazio due binari ferroviari e sei corsie autostradali. Di particolare interesse, fra i progetti presentati, furono quelli qui di seguito sommariamente citati:

a) Progetto del Gruppo Lambertini: Ponte Strallato con luci 540 m più 1300 m più 540 m, proseguito sulle due sponde da impalcati convenzionali di luce medio-alta: tale concezione appariva particolarmente idonea al traffico ferroviario in quanto ne risultava un sistema me-

no deformabile che non un analogo ponte sospeso, e più facilmente costruibile;

- b) Progetto del Gruppo Musmeci: Ponte sospeso a luce unica di 3000 m, con piloni alti 600 m, e dotato di un originale, inedito ed efficace sistema spaziale di sospensione tridimensionale finalizzato ad irrigidire la struttura sia nel piano verticale, sì da consentire una corretta risposta statica e dinamica al traffico ferroviario, sia nel piano orizzontale, sì da istituire la resistenza agli effetti aeroelastici ed aerodinamici del vento e sì da evitare quelle eccessive deformazioni statiche e dinamiche che avrebbero potuto comportare il rischio di deragliamento dei treni;
- c) Progetto dello Studio Nervi: Ponte sospeso, con campata unica, e con antenne a ridosso delle sponde dello Stretto, imbasata su fondali molto bassi, sì da ridurre la luce a 2700 m; il sistema di sospensione, ad elementi inclinati, si intendeva disposto su piani anch'essi inclinati e contenenti i cavi primari, così da conferire una resistenza ed una rigidità, nei confronti delle spinte e delle eccitazioni del vento trasversale, maggiori di quelle che allora si ottenevano nei ponti sospesi di tipo tradizionale; quattro colossali piloni di sagoma iperboloidi, due per sponda, ben distanziati, avrebbero sostenuto le estremità dei cavi di sospensione, poi proseguiti in terraferma con tracciato rettilineo.

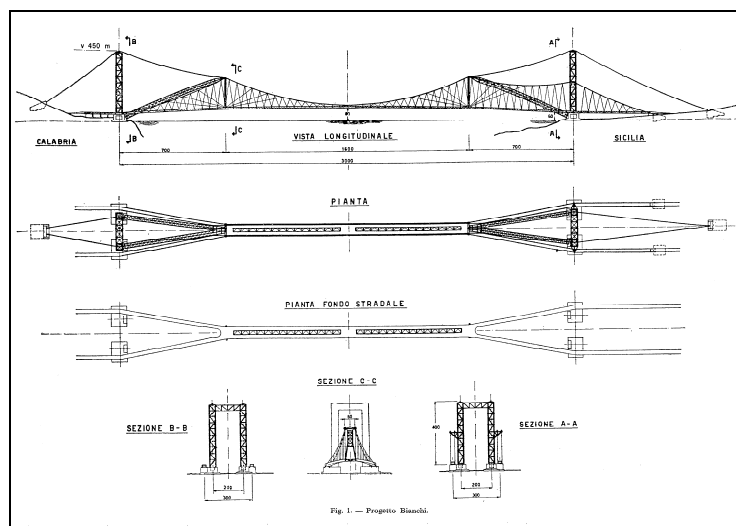


Ponte sullo Stretto di Messina – versione del Gruppo Lambertini (Leonhardt, De Miranda et alii)

Il concorso, nel quale furono presentati 143 progetti, non sortì effetti pratici, fatta salva la premiazione delle idee giudicate migliori.

Il successivo passo avanti fu fatto nel 1981, con la costituzione della società concessionaria “Stretto di Messina S.p.A.”, a cui partecipavano finanziariamente ITALSTAT, IRI, Ferrovie dello Stato, ANAS, Regione Siciliana e Regione Calabria. Da quel momento la progettazione dell’opera, così come la sua futura realizzazione e l’esercizio, sono diventate di competenza della società “Stretto di Messina S.p.A.”, e fu abbandonato l’istituto del concorso di idee già adito nel 1969. Nel 1982 il Gruppo Lambertini, già vincitore “*ex aequo*” del concorso internazionale del 1969, presentò all’anzidetta concessionaria un rinnovato progetto di ponte strallato, adeguatamente aggiornato, che prevedeva soltanto due pile nel mare, cioè erano state eliminate le campate di riva. Il progetto, nell’ultima versione, veniva incontro all’esigenza di offrire un più ampio varco per la navigazione, essendo le tre luci state portate rispettivamente a 600 m più 1800 m più 600 m. Del Gruppo Lambertini faceva parte anche il Prof. Fabrizio De Miranda, il quale, a sostegno concettuale della nuova proposta, nel n. 5 di “Costruzioni Metalliche” del 1983, pubblicò un articolo intitolato “Sulla fattibilità del ponte per l’attraversamento stradale e ferroviario dello Stretto di Messina”. Si rimarcava il fatto che la proposta Lambertini attribuiva al ponte un carattere di grande interesse: le due antenne tra le tre campate principali si impostavano su ampie fondazioni cave, tendenti al galleggiamento, costituite da cassoni circolari fissati al fondo con pali-tiranti. Il ponte quindi non avrebbe premuto sul fondo marino, poco consistente da un punto di vista geomeccanico, ma avrebbe dovuto essere ancorato allo stesso affinché non galleggiasse. Questo espediente, decisamente inedito per i ponti, rientra nel campo della normalità per lavori in mare, soprattutto in quelli attuati nel Mare del Nord (offshore e regimazioni costiere), laddove vengono prodotti, trasportati ed affondati parallelepipedi cavi di dimensioni analoghe a quelle che si proponevano per le fondazioni delle antenne centrali.

Il Gruppo Ponte di Messina, precedente alla “Società Concessionaria S.p.A.”, nel già citato congresso del 1978 aveva presentato un ponte a luce unica, di tipo sospeso, antesignano di, ed analogo a, quello che oggi si intenderebbe realizzare, tale da evitare qualunque ostacolo alla navigazione nello Stretto, e tuttavia implicante maggiori difficoltà esecutive rispetto ai prototipi con luci minori. La memoria, presentata da Franco Bianchi di Castelbianco, ed intitolata “Fattibilità del ponte a campata unica di 3300 m”, ripropone, con maggior cognizione di causa, idee già comparse nel concorso del 1969.



Ponte sullo Stretto di Messina – versione dell’Ing. Bianchi di Castelbianco

Il ponte a campata unica, più costoso e meno rigido rispetto a quello con tre campate, si afferma sempre più come soluzione univoca nel corso degli anni '80 del XX-esimo secolo. Un affinamento della già delineata soluzione con lunghezza libera centrale pari a 3300 m viene presentato nel 1986, indi viene redatto, dopo ulteriori approfondimenti e perfezionamenti, un progetto definitivo, presentato nel 1992 ed approvato nel 1997 dal Consiglio Superiore del Ministero dei Lavori Pubblici. Nell’ottobre del 2005 l’Associazione Temporanea di Imprese Eurolink S.c.p.A., capeggiata da Impregilo S.p.A., vinse la gara di appalto come contraente generale per la costruzione del ponte, e firmò ufficialmente il contratto per la progettazione esecutiva, la realizzazione e la successiva gestione il 26 marzo 2006, cioè poco prima che, con l’ascesa di Romano Prodi alla Presidenza del Consiglio, il problema del Ponte di Messina subisse la ben nota battuta d’arresto, e rischiasse l’accantonamento “*sine die*” (si ricorda che era stato proposto di risarcire il gruppo di imprese vincitore e di rinunciare del tutto alla realizzazione). Nelle elezioni politiche del 2008 Silvio Berlusconi, succeduto a Romano Prodi, promette di riprendere il progetto per la costruzione del ponte.

L’avvio, nel 2009, della progettazione esecutiva da parte di Impregilo S.p.A., coadiuvata, per la tematica ingegneristica, da “Parsons Transportation Group (U.S.A.)”, e l’apertura dei primi cantieri relativi ai lavori propedeutici in data 23 dicembre 2009, sono ufficialmente passi avanti che ancora, e tuttavia, non convincono circa le reali intenzioni governative di realizzare l’opera, anche perché la crisi che affligge tutte le nazioni europee e nord-americane non depone nel senso di promuovere decisamente e senza indugi grandi opere pubbliche.

L’ultima versione del ponte è sottesa tra Cannitello in Calabria e Ganzirri in Sicilia, contiene sei corsie di traffico stradale e due binari per il traffico ferroviario, e la luce libera si estende per

3300 metri: come ben noto, un record mondiale per i ponti sospesi. La lunghezza complessiva dell'attraversamento è 3666 m ed i piloni di sostegno sono alti 382,60 m. L'impalcato sarà sospeso a 4 cavi d'acciaio del diametro di 1.24 m e della lunghezza di 5300 m.

Lo schema statico del ponte sospeso è quello classico di tipo deformabile (senza travata irrigidente), con una catenaria fortemente ribassata (rapporto freccia-luce pari a 1/11). Un elemento di novità del progetto si può riscontrare nell'impalcato a tre cassoni (due sostengono le carreggiate stradali ed uno sostiene i binari ferroviari), soluzione che offre la minima superficie esposta al vento ed un coefficiente di portanza molto basso, minimizzando così i rischi di flutter (sventolio). Per contro, secondo alcuni, questa tipologia di impalcato estrinseca una rigidità flessionale e torsionale pressoché nulla, rendendolo molto deformabile sotto l'azione dei carichi mobili e del vento. Infatti gli spostamenti massimi previsti dal calcolo, sia verticali che orizzontali, sono dell'ordine di diversi metri, con pendenze longitudinali massime circa pari al 2% e trasversali (dovute alla torsione dell'impalcato) circa pari al 10%.

Il progetto prevede che l'opera resista senza danni strutturali a sollecitazioni sismiche fino a magnitudo 7.1 (pari a quello del Terremoto di Messina del 1908) ed a venti di 216 Km/h.

La capacità di smaltimento del traffico è stata calcolata in circa 6.000-9.000 automezzi all'ora e 200 treni al giorno. I lavori per la costruzione del ponte includono, ovviamente, la realizzazione di collegamenti con le esistenti strutture viarie e ferroviarie, ovvero l'Autostrada Salerno-Reggio Calabria, la Messina-Catania, la Messina-Palermo e la ferrovia ad Alta Capacità che dovrebbe collegare in futuro Napoli e Reggio Calabria con un prolungamento fino a Palermo.

Il Ponte sullo Stretto di Messina sarà un'importante infrastruttura in grado di promuovere il rilancio dell'economia delle regioni meridionali d'Italia e soprattutto della Sicilia. Verrà velocizzato innanzitutto il trasporto-merci, oggi affidato ad un gran numero di TIR, traghetti principalmente dalle navi private lungo rotte sottese tra le due sponde dello Stretto, e poi costretti a percorrere la A3, Salerno-Reggio Calabria, con tutte le conseguenze negative in termini di aggravio dei costi di trasporto, nonché di incidentalità e di inquinamento. Il sistema ferroviario allo stato attuale trasporta solo una quota infinitesima di merci a causa dei lunghi tempi di scomposizione e composizione dei convogli per l'imbarco e lo sbarco sui traghetti.

Che un ponte di queste dimensioni sia fattibile da un punto di vista tecnico è cosa che ormai non dovrebbe più essere messa in dubbio, come ci dimostra lo stato dell'arte a riguardo della tecnologia, e delle conoscenze sul comportamento statico e dinamico, dei grandi ponti sospesi.

Meno certezze si hanno sul fatto che il progetto oggi destinato ad essere eseguito sia real-

mente il migliore tra tutti quelli che sono stati proposti, redatti, esaminati, ovvero tra tutti quelli possibili. Ad esempio, il Prof. Federico M. Mazzolani, ha più volte pubblicamente rilevato che il progetto attuale rappresenta un salto tecnico e dimensionale eccessivo rispetto a tutti i ponti sospesi finora realizzati. Anche il Prof. Remo Calzona, che già fu ingegnere coordinatore dell'ultimo comitato scientifico, e che approvò la fattibilità del progetto del ponte, esprime analoghi dubbi con riferimento soprattutto alla sicurezza nei confronti dell'interferenza aeroelastica ed aerodinamica della struttura col vento, come viene diffusamente significato nell'opera "La ricerca non ha fine; Il Ponte sullo Stretto di Messina", DEI, Tipografia del Genio Civile, 2008, Roma. In effetti, da questo specifico punto di vista, il progetto attualmente destinato alla realizzazione rappresenta un passo indietro rispetto ai progetti di Nervi e di Musmeci, nei quali la stabilità aerodinamica era stata garantita in maniera magistrale ed efficacissima col rendere tridimensionali tutte le traiettorie di forza impersonate da membrature metalliche e contestualmente sede di vincolazioni e di connessioni interne. I due citati padri delle grandi strutture, prima ancora dello sviluppo degli studi di settore, avevano per istinto compreso che per un ponte di questa vastità il problema dominante è proprio la stabilità in fase di interferenza con le correnti d'aria. La disciplina che si occupa di questi problemi, ben nota anche per le ali degli aerei, prende il nome di aeroelasticità, ed è stata così definita da Collar nel 1947, circa quando nel merito si sviluppavano i primi studi: *"L'aeroelasticità è lo studio della mutua interazione tra le forze inerziali, elastiche ed aerodinamiche agenti in un solido esile esposto ad una corrente fluida, e l'analisi delle implicazioni di tale studio sul progetto di quel solido inteso come struttura"*.



Ponte sullo Stretto di Messina – versione attuale

Anche se a lungo non fu capita l'importanza dell'interazione fluido-struttura, le sue conseguenze divennero evidenti quando collassò il "Tacoma Narrows Bridge", coinvolto in oscilla-

zioni sempre più ampie causate dal “flutter” e dal distacco dei vortici di Von Karman a valle della sagoma investita, fino alla condizione di risonanza, con immissione incontrollata di energia di movimento entro il sistema, e con conseguente superamento dei limiti di resistenza del materiale costitutivo. In realtà quello che normalmente si esprime col nome onnicomprensivo di aeroelasticità va inteso piuttosto come il compendio di 4 fenomeni potenzialmente coesistenti e predisposti ad esaltarsi reciprocamente: a) fenomeni di aeroelasticità dinamica: a1) distacco dei vortici di Von Karman (*vortex shedding*) e fenomeni di sincronizzazione (*lock-in*); a2) oscillazioni galoppanti (*galloping*); a3) flutter (comprendente anche il *buffeting*); b) fenomeni di aeroelasticità statica: b1) divergenza torsionale (*torsional divergence*). Ognuno dei suddetti fenomeni può produrre il collasso di una struttura; nella realtà, poiché i fenomeni aerodinamici ed aeroelastici si influenzano tra loro, è praticamente impossibile individuare il limite di separazione degli stessi e le rispettive quote di partecipazione nell’eccitazione complessiva.

Con una luce di ben oltre 3000 m, il Ponte sullo Stretto di Messina rappresenta il prototipo di una nuova categoria di opere, che stacca rispetto ai limiti dimensionali delle strutture simili storicamente precedenti. Quindi tutti i fenomeni che possono riguardare, in termini di azione esterna applicata, la prevedibilità aleatoria della sicurezza, e tutti i caratteri che possono influire, come proprietà intrinseche del sistema resistente, sulle prestazioni attese, vanno sottoposte ad una attenta analisi, visto che non può essere concesso l’errore, e visto che non c’è un precedente analogo ad illuminare il percorso progettuale ed esecutivo. Nell’osare tanto sul banco di prova dell’Ingegneria non ci si può dimenticare dell’insegnamento di Pindaro: “*Nessuno troverà mai segno sicuro degli Dei per le opere future; ciechi sono i pensieri del domani*”.

4. Bibliografia

Accademia Nazionale dei Lincei – “Atti del convegno “*L’Attraversamento dello Stretto di Messina e la sua fattibilità*”, Roma 4-6 luglio 1978 – Accademia Nazionale dei Lincei.

Albenga G. – “*I ponti. La pratica*” – UTET.

Betti Carboncini A. – “*Ferry-boats un secolo*” – Calosci Cortona.

Brancaleoni F., Diana G., Faccioli E., Fiammenghi G., Firth I. P.T., Gimsing N. J., Jamiolkowski M., Sluszka P., Solari G., Valensise G., Vullo E. – “*The Messina Strait Bridge. A challenge and a dream*” – CRC Press.

Cacciari G. – “*Ponte sullo Stretto di Messina: lavori in corso*” – da rivista “*Strade e Autostrade*, n. 82, anno XIV, 4 luglio/agosto 2010.

- Calzona R. – “*La ricerca non ha fine. Il Ponte sullo Stretto di Messina*” – DEI Tipografia del Genio Civile.
- Cruciani G. – “*Questo ponte s’ha da fare. Lo Stretto di Messina e le opere incompiute che bloccano l’Italia*” – Rizzoli.
- Dani F. ed al. – “*Il libro dei ponti*” – SARIN.
- Da Rios G. – “*Settemila anni di strade*” – Grafiche Moretti.
- De Miranda F. – “*Sulla fattibilità del ponte per l’attraversamento stradale e ferroviario dello Stretto di Messina*” – da rivista “*Costruzioni Metalliche*” n. 5 – 1983.
- Iori T – “*Pier Luigi Nervi. L’Architettura. I protagonisti*” – La Biblioteca di Repubblica- L’Espresso.
- Leonhardt F. – “*Bridges*” – Deutsche Verlags-Anstalt.
- Mancosu C. – “*Il Ponte sullo Stretto. Rischi, dubbi, danni e verità nascoste*” – M.E. Architectural Book and Review.
- Martufi G. – “*Il crollo del ponte sospeso Tacoma Narrows nel 1940*” da “*Ingegneria strutturale e ingegneria del vento*”.
- Masi F. – “*Il problema delle comunicazioni fra Sicilia e Continente e la costruzione di un ponte sullo Stretto di Messina*” – da rivista “*Costruzioni Metalliche*” n. 3 – 1951.
- Mazzolani F. M. – “*Alcune considerazioni sulla realizzazione di quello che sarà il ponte sospeso più lungo del mondo per l’attraversamento dello stretto di Messina*” – da rivista “*Costruzioni Metalliche*” n. 1, 2004.
- Petrini F. – “*Analisi al passo per la modellazione dei fenomeni aeroelastici nei ponti di grande luce*” da Seminario Tecnico: utilizzo del software Ansys/CivilFEM nell’analisi strutturale di problematiche avanzate; Roma 11 novembre 2005.
- Prade M. – “*Ponts & Viaducs remarquables d’Europe*” – Brissaud Poitiers.
- Troyano L. F. – “*Terra sull’Acqua. Atlante Storico Universale dei Ponti?*” – Università degli Studi di Palermo.
- Van Uffelen C. – “*Bridge. Architecture + Design*” – Braun.