

Leonardo Fernández Troyano

TERRA SULL'ACQUA  
ATLANTE STORICO UNIVERSALE DEI PONTI

Edizione italiana a cura di  
MARCELLO ARICI  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO



F 0-1.- Ponte sul fiume dell'Arroyo Maldonado in Uruguay. Luce centrale di 90 metri. LEONEL VIERA.

#### AL PUENTE CURVO DE LA BARRA MALDONADO EN URUGUAY

Entre agua y aire brilla el Puente Curvo:  
entre verde y azul las curvaturas  
del cemento, dos senos y dos simas  
con la unidad desnuda  
de una mujer o de una fortaleza,  
sostenida por letras de hormigón  
que escriben en las páginas del río.  
Entre la humanidad de las riberas  
hoy ondula la fuerza de la línea,  
la flexibilidad  
a la dureza,  
la obediencia impecable  
del material severo.  
Por eso, yo, poeta  
de los puentes,  
cantor de construcciones,  
con orgullo

celebro  
el atrio  
de Maldonado, abierto  
al paso pasajero,  
a la unidad errante de la vida.  
Lo canto,  
porque no una pirámide  
de obsidiana sangrienta  
ni una vacía cúpula sin dioses,  
ni un monumento inútil de guerreros  
se acumuló sobre la luz del río,  
sino este puente que hace honor al agua  
ya que la ondulación de su grandeza  
une dos soledades separadas  
y no pretende ser sino un camino.

Pablo Neruda



*F 0-2.- Ponte di Valdelugeros sul fiume Curueño. León. Primavera del 1990.*

TERRA SULL'ACQUA

Non è di certo una cosa positiva iniziare un libro dando delle spiegazioni o delle giustificazioni: potrebbero sembrare quasi delle scuse per ciò che esso contiene ma, considerando le peculiarità di questo libro, è necessario farlo.

Come dice il suo titolo, si tratta di una visione universale dei ponti e, come tutte le visioni, ha uno spettatore, che in questo caso è proprio l'autore. Si è cercato di farla come se fosse vista da un uccello, dalla maggior altezza possibile, affinché la visione fosse uniforme, ma è veramente difficile distaccarsi dalla terra, per cui la visione ha irrimediabilmente primi piani, piani intermedi e piani più lontani.

In questo caso i primi piani sono necessariamente i nostri ponti, cioè quelli alla cui costruzione l'autore ha partecipato in forma più o meno diretta. Per questo motivo si potrebbe attribuire un eccesso di riferimenti a tali opere, ma sono quelle che conosciamo meglio e di cui abbiamo più documentazione, sia scritta che grafica, e quindi a volte ci siamo basati su di esse per esemplificare determinate tipologie di ponti o procedimenti costruttivi che riteniamo importanti e che abbiamo utilizzato.

In secondo piano ci sono i ponti spagnoli, anch'essi sovrarappresentati (soprattutto quelli in muratura) perché sono quelli che conosciamo meglio e su cui abbiamo basato i nostri studi.

In terzo piano s'incontra l'ingegneria europea, e specialmente quella inglese e quella francese, che sono quelle a noi più vicine e di cui esiste molta bibliografia facilmente consultabile, soprattutto grazie alla lingua. In questo settore vanno inclusi gli Stati Uniti d'America.

In ultimo piano si colloca l'ingegneria degli altri paesi, lontani dalla nostra visione: l'Europa dell'Est, l'Asia, il resto dell'America e l'Africa.

È possibile che in questo libro vengano citati alcuni ponti e che ponti di eguale o maggiore importanza vengano dimenticati. Un aspetto fondamentale è l'informazione grafica, perciò in molti casi è stato citato un ponte invece che un altro a esso analogo solo per ragioni di documentazione grafica disponibile.

Inoltre è possibile che ci siano errori e omissioni sugli autori dei vari ponti, nonostante sia stato dedicato molto tempo a questo aspetto, visto che ciò risulta molto importante in un libro di questo tipo. Tuttavia in qualche caso è molto difficile risalire al costruttore o al progettista di un ponte. Desidero scusarmi per i possibili errori che ho commesso, ma ritengo che tutto ciò sia inevitabile in un'opera con tali caratteristiche. La mia intenzione è stata quella di costruire una visione ampia e obbiettiva, dalla maggiore altezza possibile.



## PREFAZIONE ALLA EDIZIONE ITALIANA

Finalmente esce in pubblicazione la versione italiana di TIERRA SOBRE EL AGUA di Leonardo Fernández Troyano, un libro che ho amato subito, fin dal primo momento in cui ho avuto modo di sfogliarlo su segnalazione di Enzo Siviero.

Amore a prima vista motivato dal fascino che porta con sé questa opera e che trasmette immediatamente al lettore la profonda competenza e l'interesse dell'Autore per queste Opere d'Arte e dell'ingegno umano, i Ponti, che nel corso della storia hanno rappresentato, insieme con le cattedrali, la più alta espressione dell'ingegno costruttivo.

D'altra parte Leonardo Fernández Troyano è figlio d'arte, figlio di Carlos Fernández Casado, uno dei più grandi progettisti strutturali spagnoli del secolo scorso, contemporaneo di Eduardo Torroja anche se di lui certamente meno noto, ma che ha lasciato alla Spagna opere di altissimo livello sia tecnico che estetico nel campo dell'ingegneria strutturale ed infrastrutturale. Il nome di battesimo dell'Autore testimonia il profondo attaccamento di Carlos per il Rinascimento italiano per la sua figura più rappresentativa, Leonardo da Vinci, il più grande genio italiano.

Ma Leonardo Fernández Troyano brilla anche di luce propria: è il raffinato progettista di alcuni dei più bei ponti spagnoli (non calatravizzati) tra i quali ricordo qui soltanto il ponte Sancho el Mayor sul fiume Ebro del 1978, il ponte sul fiume Lèrez a Pontevedra del 1995 e la passerella pedonale de las Glorias Catalanas del 1992 a Barcellona. Egli è inoltre uno dei contitolari della Oficina de Proyectos "Carlos Fernández Casado", S.L. di Madrid, società di progettazione tra le più importanti ed apprezzate in Spagna.

Dopo aver presentato l'Autore parliamo del libro: *Tierra sobre el agua* è sostanzialmente, come recita il sottotitolo originale, un Atlante Storico Universale dei Ponti. A partire dal titolo tuttavia, l'Autore manifesta la scelta di una visione quasi poetica di un argomento che di per sé potrebbe risultare eccessivamente arido in ragione dei contenuti tecnici. Risulta invece un affascinante viaggio nella storia e nel mondo dei ponti che, senza rinunciare al rigore scientifico, riempie il Lettore delle suggestioni tipiche del viaggiatore e di una massa di informazioni e di contenuti altrimenti impossibili da reperire. Si impara a conoscere i ponti romani, anche se già visti mille volte, a conoscere gli splendidi ponti storici cinesi altrimenti completamente sconosciuti, a gustare la storia dei ponti abitati, i ponti mobili, fino alla storia dell'evoluzione dei ponti strallati e sospesi che giunge ai nostri giorni con il progetto del ponte sullo stretto di Messina e di quello sullo stretto di Gibilterra con le sue campate da 3500 metri.

Scilla e Cariddi e le Colonne d'Ercole, luoghi mitici, dove Annibale progettò l'attraversamento con ponti di barche e dove ora l'ingegno umano progetta di rendere più vicine, anzi unire culture millenarie residenti su sponde amiche ai bordi di un lago Mediterraneo, il Mare Nostrum culla della nostra civiltà. Ma anche i ponti dell'Europa Continentale, degli Stati Uniti d'America, dell'America Latina, dell'Africa, dell'Australia e dell'Estremo Oriente dove sono stati raggiunti i risultati tecnologicamente più avanzati superando anche la tecnologia occidentale.

Oltre che un piacevole viaggio, questo libro è anche un testo di studio molto documentato ed approfondito, con utilissime notizie e viste fotografiche anche sui procedimenti costruttivi e sui loro dettagli. Testo fondamentale ad uso di studenti e ricercatori delle facoltà di Ingegneria e di Architettura, ma anche tale da ben figurare nelle librerie dei non addetti ai lavori.

Questo è il motivo per cui, dopo averlo letto, ho pensato che potesse costituire una palestra per i miei studenti del Corso di Ponti, corso che tengo presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Palermo da oltre 30 anni. Quasi un laboratorio collettivo, impegnando gli allievi ingegneri in una difficile traduzione con discussioni e scambi di interpretazioni, suscitando curiosità tecniche e realizzative. Il lavoro è stato oneroso, la revisione lunga e per quanto attenta certamente imperfetta e di questo mi scuso con il lettore italiano. Ma il lavoro è stato fruttuoso, i ragazzi hanno risposto con entusiasmo, certamente imparando molto di più che ascoltando fredde ed astratte lezioni ex cathedra. Molti di loro hanno adesso iniziato un difficile per-

corso professionale e sono certo che non dimenticheranno questa esperienza formativa che li ha messi in contatto con un mondo prima sconosciuto ma poi del tutto coinvolgente.

Questa esperienza ha cambiato anche me stimolandomi a dedicare maggiore energia ed entusiasmo alla “Concezione Strutturale”, a chiedermi perché i progettisti e i costruttori di ponti spagnoli, portoghesi, francesi, inglesi, tedeschi, cecoslovacchi, sloveni e croati, insieme a quelli di altri paesi ancora, abbiano raggiunto livelli così elevati nella costruzione dei ponti rispetto al livello medio di quelli italiani. Pur avendo avuto dei maestri insuperabili nel passato e più di recente, maestri quali Nervi e Morandi, in Italia si è preferito percorrere la strada del progetto di minor costo, delle opere affidate direttamente senza concorsi di idee, evitando soluzioni ardite perché rischiose. Certo anche in Italia abbiamo avuto i Cestelli Guidi, gli Zorzi, i Musmeci, i De Miranda, i Petrangeli, e mi scuso per tutti quelli che non ho citato, ma anche loro hanno dovuto operare in una realtà difficile meno disposta a lasciare spazio alla creatività concettuale nel progetto dei ponti e delle strutture.

Su questa linea di pensiero ho anche accettato un incarico di insegnamento presso la Facoltà di Architettura di Palermo, spinto anche in questo dal mio amico Enzo Siviero, motore instancabile di mille iniziative a favore dell'Architettura Strutturale. Con lui ho condiviso esperienze di grande soddisfazione, sperimentando un “Erasmus” italiano con scambio di studenti e di esperienze di progettazione strutturale tra allievi architetti di Venezia e Palermo. Abbiamo organizzato insieme corsi di aggiornamento professionale sui nuovi orientamenti nella costruzione dei ponti, invitando docenti italiani e progettisti esperti stranieri, sempre mirando al miglioramento concettuale della progettazione del ponte sotto vari aspetti, ottenendo un notevole successo di partecipanti sia professionisti che addetti ai lavori della costruzione dei ponti.

In Facoltà di Architettura ho dovuto impegnarmi nell'insegnamento della Tecnica delle Costruzioni in modo completamente diverso che in Facoltà di Ingegneria, privilegiando gli aspetti comportamentali dei materiali e quelli prestazionali delle strutture piuttosto che le formule e i calcoli numerici. La risposta è stata qualche volta entusiasmante, anche se in alcuni casi è stato necessario moderare e correggere una certa eccessiva creatività e qualche ingenuità tecnica. La Facoltà di Architettura di Palermo e lo IUAV di Venezia mi hanno consentito di organizzare mostre e seminari sull'Architettura Strutturale a cominciare dalla bellissima mostra su Eduardo Torroja, che è stata molto apprezzata dagli studenti e non solo da loro. Anche se l'Università, così come l'intero Paese, hanno respirato aria di forte crisi sia di contenuti che di sbocchi professionali soprattutto al Sud, credo che la crisi sia soprattutto di identità e di valori condivisi. Occorre superarla accettando, anche nel campo delle esperienze progettuali, il confronto con i migliori immergendoci nel mondo della competitività senza accontentarci dei nostri piccoli egoismi e di miopi convenienze.

Devo a Leonardo Fernández Troyano alcuni degli stimoli di cui ho detto, all'entusiasmo che mi ha trasmesso con il suo libro, alla sua modestia e semplicità al limite della timidezza ed alla sua simpatia personale.

Com'è d'uopo passo alla fine ai ringraziamenti: prima di tutto ai miei allievi del Corso di Ponti che si sono accollati l'onere del primo impianto della traduzione, poi al dottore di ricerca Michele Fabio Granata dapprima attento ed intelligente studente del corso ed ora prezioso collaboratore anche nel curare la versione italiana del testo. Un ringraziamento anche a mia figlia Francesca, l'unica che conosceva veramente la lingua spagnola, sempre tesa a promuovere attività diverse ma tutte dirette alla qualità dell'impegno progettuale e alla rivendicazione del ruolo dell'Architetto. Infine un grazie ad Enzo Siviero per i suoi consigli, ma soprattutto per l'energia profusa nel suo infaticabile attivismo.

La versione originale di questo libro è già, in pochi anni, alla soglia della terza edizione ed è anche stata pubblicata, da Thomas Telford ed., la versione inglese con una bellissima introduzione del grande progettista di ponti ceco Jiri Strasky.

Un augurio alla versione italiana del libro perché possa produrre sui lettori quegli effetti che io stesso ho già sperimentato nel leggerlo.

## INDICE

*Prefazione* .....pag. 17

### CAPITOLO I INTRODUZIONE

- 1. Il ponte, la strada e il fiume ..... » 23
- 2. Il ponte, oggetto nel paesaggio ..... » 27
- 3. Il ponte, opera degli ingegneri ..... » 31
- 4. Il ponte, forma costruita..... » 42

### CAPITOLO II I PONTI E IL LORO DIVENIRE STORICO

- 1. Le diverse storie dei ponti..... » 65
- 2. I due periodi della storia dei ponti ..... » 77
- 3. Evoluzione e sviluppo delle varie tipologie di ponte » 79
- 4. Le vicissitudini dei ponti nel corso della storia ..... » 81
- 5. Interventi nei ponti storici ..... » 96
  - 5.1. Interventi di adattamento ..... » 97
  - 5.2. Riparazioni, ricostruzioni, restauri..... » 100
  - 5.3. Sostituzioni dei ponti storici ..... » 101
- 6. Gli ingegneri e la storia del ponte ..... » 103

### CAPITOLO III I PONTI E I LORO MATERIALI

- 1. I materiali dei ponti ..... » 107
- 2. Ponti di pietra ..... » 110
  - 2.1. Ponti di mattoni ..... » 118
  - 2.2. Evoluzione e sviluppo dei ponti in pietra..... » 120
    - 2.2.1. I ponti orientali..... » 120
    - 2.2.2. Ponti romani ..... » 124
    - 2.2.3. Ponti medievali ..... » 135
    - 2.2.4. I ponti dell'età moderna ..... » 149
    - 2.2.5. Il secolo XVIII..... » 157
    - 2.2.6. La fine dei ponti di pietra: il XIX secolo e gli inizi del XX ..... » 161
- 3. Ponti in legno..... » 168

- 3.1. Evoluzione e sviluppo dei ponti di legno ..... » 171
  - 3.1.1. Ponti dell'età Antica e del Medioevo .... » 171
  - 3.1.2. I ponti coperti ..... » 174
  - 3.1.3. Ponti orientali ..... » 180
  - 3.1.4. Ponti dell'Età Moderna e Contemporanea » 183
  - 3.1.5. Centine in legno ..... » 196
- 4. Ponti metallici ..... » 201
  - 4.1. Ponti di ghisa ..... » 203
  - 4.2. Ponti in ferro battuto ..... » 203
  - 4.3. Ponti in acciaio ..... » 204
  - 4.4. Procedimenti di unione delle parti metalliche » 206
  - 4.5. Evoluzione e sviluppo dei ponti metallici..... » 208
- 5. Ponti di calcestruzzo ..... » 209
  - 5.1. Il calcestruzzo e i suoi modi di resistere ..... » 209
  - 5.2. Calcestruzzi ad alta resistenza ..... » 212
  - 5.3. Calcestruzzi leggeri ..... » 212
  - 5.4. Ponti in calcestruzzo a gravità ..... » 215
  - 5.5. Ponti in cemento armato ..... » 215
  - 5.6. Ponti in cemento armato precompresso ..... » 217
- 6. Ponti misti ..... » 223
- 7. I materiali dei ponti del futuro ..... » 227

### CAPITOLO IV I PONTI, LA LORO STRUTTURA E I PROCEDIMENTI COSTRUTTIVI

- 1. Relazioni tra struttura, materiali, processi costruttivi e il ruolo dei ponti ..... » 235
- 2. I ponti secondo la loro struttura ..... » 237
- 3. Conoscenza teorica e sperimentale dei ponti..... » 244
  - 3.1. Sicurezza della struttura ..... » 244
  - 3.2. Criteri di calcolo delle strutture ..... » 246
  - 3.3. Le scienze applicate alle strutture ..... » 246
  - 3.4. Modelli di studio delle strutture ..... » 247
  - 3.5. Origini e problemi fondamentali delle scienze delle strutture ..... » 248
  - 3.6. Calcolo non lineare ..... » 252
  - 3.7. Calcolo dinamico ..... » 252
  - 3.8. Conoscenza teorica e conoscenza sperimentale » 253

## INDICE

3.9. Conseguenze catastrofiche della mancanza di conoscenze teoriche..... » 255	3. Fondamenti teorici dei ponti a travata ..... » 385
4. Azioni sui ponti ..... » 258	4. Costruzione dei ponti a travata..... » 391
5. Vincoli tra i distinti elementi che formano il ponte » 260	4.1. Costruzione su centina ..... » 394
6. Ponti obliqui e ponti curvi ..... » 265	4.1.1. Costruzione in situ ..... » 394
6.1. Ponti obliqui ..... » 265	4.1.2. Ponti a conci prefabbricati costruiti su centina ..... » 395
6.2. Ponti curvi..... » 268	4.2. Costruzione per sbalzi successivi ..... » 396
7. Costruzione dei ponti..... » 274	4.3. Traslazione per movimenti orizzontali e verticali..... » 405
7.1. Tappe della costruzione di un ponte ..... » 277	4.3.1. Ponti sospinti ..... » 406
7.2. La costruzione dei diversi elementi del ponte.. » 282	4.3.2. Ponti ruotati ..... » 408
7.2.1. Le fondazioni ..... » 282	4.3.3. Ponti traslati per galleggiamento ..... » 409
7.2.2. Pile e torri ..... » 289	5. Evoluzione e sviluppo dei ponti a travata ..... » 412
7.2.3. Sovrastruttura ..... » 291	5.1. Ponti di legno ..... » 412
	5.2. Ponti misti in legno e ferro ..... » 412
	5.3. Ponti metallici ..... » 413
	5.4. Ponti in cemento armato ..... » 442
	5.5. Ponti in cemento armato precompresso ..... » 445
CAPITOLO V	
PONTI AD ARCO	
1. L'idea dell'arco ..... » 295	
2. Struttura dei ponti ad arco ..... » 299	
3. Fondamenti teorici dei ponti ad arco ..... » 308	
4. Costruzione dei ponti ad arco..... » 312	
4.1. Costruzione su centina ..... » 314	
4.2. Costruzione con centina autoportante..... » 315	
4.3. Costruzione per sbalzi successivi ..... » 316	
4.4. Costruzione dell'arco per rotazione dei due semiarchi..... » 320	
4.5. Costruzione tramite cavi sospesi ..... » 322	
4.6. Traslazione mediante movimenti orizzontali e verticali..... » 322	
5. Evoluzione e sviluppo dei ponti ad arco ..... » 324	
5.1. Archi in muratura ..... » 324	
5.2. Archi in legno ..... » 325	
5.3. Archi metallici..... » 325	
5.4. Archi in calcestruzzo ..... » 348	
CAPITOLO VII	
PONTI A TELAIO	
1. Struttura dei ponti a telaio ..... » 481	
2. Costruzione dei ponti a telaio..... » 484	
3. Evoluzione e sviluppo dei ponti a telaio ..... » 486	
3.1. Portali in legno ..... » 486	
3.2. Portali metallici ..... » 486	
3.3. Telai in calcestruzzo..... » 495	
3.3.1. Telai a pile inclinate..... » 496	
3.3.2. Telai con cellule triangolari ..... » 499	
CAPITOLO VIII	
I PONTI SOSTENUTI DA CAVI: PONTI STRALLATI E PONTI SOSPESI	
1. Il cavo e la sua resistenza..... » 509	
2. Cavi principali, pendini e tiranti..... » 513	
2.1. Cavi formati da catene..... » 515	
2.2. Cavi costituiti da fili paralleli..... » 517	
2.3. Cavi di fili intrecciati a spirale ..... » 525	
CAPITOLO VI	
PONTI A TRAVATA	
1. L'idea della trave ..... » 379	
2. Struttura dei ponti a travata ..... » 383	





*F 1-1.- Ponte di Peroblasco sul fiume Cidacos, La Rioja.*

## Capitolo I

### INTRODUZIONE

*Come se, per benefico intervento di qualcuno, per tutti e per ciascuno fosse stato attuato uno dei più profondi desideri, un antico sogno degli uomini: camminare sopra le acque e dominare la terra.*

IVO ANDRIÇ – Il ponte sulla Drina

#### 1.- IL PONTE, LA STRADA E IL FIUME

Il ponte è terra sopra l'acqua; la sua funzione è quella di realizzare un elemento adatto al passaggio dell'uomo, la strada, sopra un altro che adeguato non è, il fiume. Un fiume senza un ponte costituisce sempre un'interruzione nella continuità del percorso poiché in molti casi l'attraversamento può risultare difficile, pericoloso, o addirittura impossibile.

Il ponte è strada sopra il fiume; deve quindi consentire, nello stesso punto, sia il passaggio del traffico sopra la strada che quello dell'acqua su livelli distinti, risolvendo così il problema più difficile che la strada incontra nel suo percorso. Il ponte risulta quindi parte della strada e deve al fiume la sua ragion d'essere.

Alcuni fiumi sono guadabili in acque tranquille anche se il loro attraversamento risulta disagiata e durante i periodi di piena addirittura impraticabile. Altri fiumi possono essere attraversati in barca, chiatte o traghetto, però spesso ciò complica o ritarda il viaggio. Il ponte dà continuità alla strada senza rallentare la marcia del viaggiatore, qualunque sia il suo modo di viaggiare; sicché spesso questi non si renderà conto che sta attraversando un ponte. Il ponte moderno "non pretende di esistere senza una strada" (PABLO NERUDA<sup>1</sup>); deve essere umile e passare inosservato. Nelle strade, autostrade e ferrovie moderne, concepite per grandi velocità, non deve esistere alcun tipo di discontinuità che possa cagionare distrazioni a colui che viaggia. Egli noterà la presenza di un ponte soltanto quando vedrà la strada sollevarsi dal terreno e passare sull'acqua. Il ponte sarà quindi visibile da un altro punto della strada quando il tracciato di questa lo renda possibile o quando l'ambiente circostante è abitato, oppure anche quando la tipologia è tale che la sua struttura si elevi sopra la carreggiata. Questa è una delle ragioni per cui coloro



*F 1-2.- Ponte di Normandia sopra la Senna, Francia. Campata principale di 856 metri di luce. 1995. M. VIRLOGEUX. Fotografia scattata durante la costruzione.*

TERRA SULL'ACQUA



*F 1-3.- Pont du Gard sopra il fiume Gardon. Acquedotto romano per l'approvvigionamento dell'acqua a Nîmes, Francia. Secolo I a.C.*

che li costruiscono prediligono i ponti sospesi, strallati o ad arco superiore, avendo compreso tra questi tutti quelli che hanno contribuito alla realizzazione del ponte stesso, dagli autori del progetto, fino ai manovali, che costruiscono l'opera con le proprie mani.

Costoro amano questo tipo di ponti perché vogliono opporsi a quel genere di umiltà. Vogliono non solo che i loro ponti si vedano, ma che servano da punti di riferimento per rompere la monotonia della strada. Essi sono inoltre gratificati dalla propria opera, creazione umana che comporta valori espressivi; valori dovuti in gran parte alla possanza della struttura resistente che nei ponti può raggiungere le dimensioni più grandi che siano mai state realizzate dall'uomo.

Il ponte è la materializzazione della piattaforma stradale

quando questa si separa dal suolo. Questa definizione è più ampia e attuale della precedente, perché i ponti, in principio utilizzati unicamente per l'attraversamento dei fiumi, con l'aumentare dei requisiti della strada, vengono utilizzati anche per oltrepassare altri ostacoli. Il ponte non solo consente il passaggio sopra i fiumi, ma anche il superamento di altri tipi di flussi quali altre vie di traffico, o il transito sopra altri ostacoli naturali o artificiali. Vengono inclusi così anche i viadotti che, secondo la Reale Accademia della Lingua, in Spagna, sono "opere tipologicamente simili al ponte per il passaggio della strada sopra una vallata", quando la distanza tra la piattaforma stradale e il terreno è talmente grande che non si può realizzare un rilevato o non risulta conveniente farlo".<sup>3</sup> Sempre secondo il Dizionario della Reale Accademia di Spagna, il ponte comprende già questa estensione nella sua pri-

ma accezione: “fabbrica di pietra, mattone, cemento, legno o ferro che si costruisce sopra i fiumi, fossi, e altri ostacoli, per poterli attraversare”.

Rendere la piattaforma stradale indipendente dal suolo, ovvero mantenere la strada in quota, richiede una struttura in grado di sostenere se stessa e i carichi del traffico che transita sulla via. La struttura resistente necessita nella maggior parte dei casi di supporti intermedi, dato che non si può risolvere con una sola luce tutto il tratto separato del suolo. L'estrema variabilità di condizioni che l'ambiente impone alla struttura, dà luogo alla varietà di tipi e forme riscontrabili nei ponti.

La definizione precedente non include ancora tutte le possibili varietà di ponte. Altri tipi di flussi, oltre al traffico stradale, possono farne uso: correnti d'acqua o di altro prodotto liquido o gassoso, che sia trasportato mediante canali o tubi. Può essere utilizzato per il passaggio di canalizzazioni e servizi, o come condotto di comunicazione, ecc.

Il ponte è dunque l'incrocio su distinti livelli di due flussi che possono essere di natura molto diversa, ovvero esso costituisce il supporto di una corrente nel momento in cui questa si separa dal terreno.

Questa ultima definizione include gli acquedotti, ovvero ponti o viadotti costruiti per il passaggio di condutture o canali di acqua, che in epoca romana ebbero una maggiore importanza storica rispetto ai ponti stradali; valgono come esempio le opere pubbliche romane probabilmente più conosciute: il *Pont du Gard* per l'approvvigionamento d'acqua a Nîmes, e l'acquedotto di *Segovia* per l'approvvigionamento d'acqua di questa città.

Sebbene la parola acquedotto, in principio, si riferisse all'intera conduttura d'acqua, come si ritrova nella definizione del Dizionario della Reale Accademia della Lingua in Spagna, l'ingegneria ha generalmente riservato l'uso del termine alle opere sopraelevate, assimilandolo al termine viadotto. A ragione di ciò, quando si parla degli acquedotti di *Segovia*, o dei *Milagros* ecc., ci si riferisce esclusivamente al ponte, non all'intera conduttura, anche se la denominazione corretta dovrebbe essere ponte-acquedotto.

Gli acquedotti sono, in molte occasioni, acqua sopra acqua e, invertendo la prima definizione di ponte che abbiamo dato, possono arrivare a essere acqua sopra terra quando il canale passa sopra una strada. In alcuni casi, gli acquedotti consentono il passaggio di un flusso di traffico, quando

ad esempio qualcuno di questi viene realizzato come canale di navigazione.

Risulta sorprendente, in qualche canale inglese o francese, vedere una imbarcazione che passa sopra una strada, o a grande altezza sopra una valle.

Il ponte “unisce due tratti separati e non chiede altro che essere un collegamento” (PABLO NERUDA<sup>1</sup>). Il ruolo del ponte come collegamento tra le due rive del fiume, come comunicazione creata per l'uomo in un luogo dove questa non esisteva, è stato sempre presente nel sentire comune della gente.

*F 1-4.- Imbarcazione che attraversa l'acquedotto di Pontcysyllte sopra il fiume Dee. Canale di Ellesmere, Gran Bretagna. Archi di 13.7 metri di luce, 1805. T. TELFORD.*



F1-3/3-24  
F1-40/3-26

F3-27

## TERRA SULL'ACQUA

Per questo la parola ponte è stata utilizzata e si continua a usare in innumerevoli occasioni come sinonimo di unione tra due elementi separati; da lì la quantità di accezioni che la parola ponte presenta. Nel sentire comune sussistono anche altri significati: oltrepassare un ostacolo difficile per esempio, da cui l'estensione d'uso della parola ponte a quello che normalmente si attribuisce al verbo pontificare e alla parola pontefice.

Non v'è dubbio che alla parola ponte si può assegnare l'ampiezza semantica che abbiamo visto, senza però dimenticare che il ponte per antonomasia è, e sarà sempre, ciò che passa sopra un fiume o una via d'acqua.

L'influenza dei due elementi che sostanzialmente ne giustificano l'esistenza, il fiume e la strada, è cambiata radicalmente nel corso della storia.

La natura non ha subito trasformazioni qualitative nei duemila anni della storia del ponte quindi le caratteristiche dei fiumi sono rimaste le stesse dall'origine dei ponti fino ai giorni nostri. La geomorfologia dei loro letti è la stessa, le portate e gli alvei sono dello stesso ordine di grandezza. Molti ponti sono andati perduti nel corso della storia. La maggior parte a causa delle piene dei fiumi; per questa ragione fino al secolo XIX, le loro dimensioni erano stabilite sostanzialmente sulla base della capacità di deflusso delle massime portate.

Le caratteristiche della strada, al contrario, si sono modificate decisamente nel corso della storia. In origine la strada aveva pochissime pretese: consisteva nella semplice pulizia del terreno per renderlo praticabile, per poterlo seguire senza smarrirsi dalla partenza all'arrivo. Indicare il percorso era una delle funzioni basilari della strada. La strada fu tuttavia perfezionata con l'evolversi dei sistemi di trasporto. Il primo grande momento di sviluppo delle strade si deve ai romani cui occorreva una rete permanente di comunicazione viaria per controllare l'Impero. I romani viaggiavano principalmente a cavallo, ma si servivano anche di carri a due e a quattro ruote riservati al trasporto di viaggiatori e mercanzie. Nel Medio Evo si viaggiava quasi esclusivamente a cavallo e quindi le strade ed i loro ponti si fecero più stretti ed il tracciato meno regolare.

Nel secolo XVI si iniziò a viaggiare con le carrozze, uso che si diffuse maggiormente nel secolo successivo. Le carrozze erano sempre più veloci, per cui occorrevano strade con car-

reggiata migliore e più larga, e con il tracciato sempre più curato. Dalle carrozze si passò ai veicoli a motore, il treno prima e le automobili dopo e questo obbligò a ulteriori migliorie delle caratteristiche stradali, fino ad arrivare alle attuali autostrade e ai treni ad alta velocità.

L'immutabilità del fiume e l'evoluzione della strada, sommati alla crescita delle conoscenze umane, sono gli elementi da porre a fondamento dell'evoluzione dei ponti.

Ai primordi della storia, l'attraversamento dei fiumi costituiva il maggiore impedimento alla costruzione di strade. A causa dell'insufficienza delle conoscenze tecniche, la costruzione di ponti poneva serie difficoltà. Per questo, di fronte a un fiume, in primo luogo si cercava il posto più conveniente dove costruire il ponte, e la strada veniva adattata a posteriori. Può ben dirsi che il ponte determinava il tracciato della strada. Questa impostazione iniziale si è andata progressivamente ribaltando seguendo lo sviluppo delle tecniche di costruzione dei ponti e l'aumento delle esigenze funzionali della strada.

Si è arrivati così alla situazione attuale che inverte la tendenza originaria. Il ponte si costruisce adesso sulla base delle condizioni geometriche imposte dal tracciato della strada e si può adesso affermare, nel momento in cui si realizza un ponte, che la strada ha priorità rispetto al fiume.

Tuttavia, riguardo a questo problema, così come in tutti quelli che si presentano nell'ingegneria che agisce sul territorio, è fondamentale considerare la scala degli elementi in oggetto. Di conseguenza i grandi fiumi continueranno a condizionare il progetto dei ponti che si vogliono costruire sopra di essi.

L'evoluzione degli acquedotti è maturata in antitesi a quella dei ponti stradali. I romani pur conoscendo già il funzionamento del sifone<sup>4</sup> e dei tubi in pressione, realizzarono le condutture di acqua corrente con canali a cielo aperto senza pressione. Ciò richiede un profilo del canale adduttore con pendenze ridotte, obbligando spesso a superare grandi dislivelli. Per questa ragione i ponti di maggior importanza costruiti dai romani, eccezioni a parte, furono gli acquedotti.

In seguito, la possibilità di usare sifoni per facilitare l'attraversamento delle valli ha ridotto nella maggior parte dei casi le dimensioni degli acquedotti anche se i grandi canali a cielo aperto continuano a essere costruiti e si continuano a



*F 1-5.- Il ponte di Ganter nel paesaggio alpino della strada del Sempione che attraversa le Alpi dalla Svizzera all'Italia. Campata principale di 174 metri di luce. 1982. C. MENN.*

utilizzare ponti-acquedotto quando è necessario attraversare una valle.

## 2.- IL PONTE, OGGETTO NEL PAESAGGIO

Il ponte è un'opera dell'ingegneria e in quanto tale comporta una trasformazione della natura per adattarla alle necessità dell'uomo. Esso è fondamentalmente un'opera utile e, come abbiamo detto, sovente non viene notato dai viaggiatori che lo percorrono.

L'azione esercitata sull'ambiente naturale è la base comune ai vari rami dell'ingegneria, sebbene questa venga applicata con specifiche e peculiari modalità operative a seconda del campo di interesse. Ogni ramo opera su una scala diversa

dell'ambiente naturale. Il campo dell'ingegneria chimica, ad esempio, non ha nulla a che vedere con l'ingegneria delle infrastrutture, generalmente chiamata delle opere pubbliche.

L'ingegneria è sempre creativa, non sarebbe ingegneria se non lo fosse. Tuttavia, questa creatività si presenta con caratteristiche molto differenti. L'ingegneria chimica può creare un materiale che abbia un ampio ed eterogeneo campo d'impiego, questo materiale però come tale, non avendo forma, non è di per sé dotato di valori espressivi. È possibile poi realizzare successivamente con questo materiale degli oggetti che abbiano valore espressivo, ma ciò coinvolge altre tecniche. L'ingegneria delle infrastrutture, invece, agisce direttamente sul territorio e lo trasforma per adattarlo alle necessità dell'uomo. Le sue opere si inseriscono nell'ambiente geografico e diventano parte di esso, diventando esse stesse

## TERRA SULL'ACQUA

geografia.<sup>5</sup> Il nuovo paesaggio che ingloba l'opera diventa differente dal precedente e produce inevitabilmente un impatto diverso sull'osservatore che non può evitare di notarlo. Il valore espressivo delle opere infrastrutturali è di diversa natura e dà luogo a diversi tipi d'impatto: dai problemi che pone l'alterazione dell'ambiente, fino al valore estetico che può essere raggiunto. Fondamentali tra le infrastrutture sono le strade in tutte le loro forme, strade che nel corso della storia sono cambiate con il modo di viaggiare: a piedi, a cavallo e su veicoli con ruote. L'evoluzione nel tempo di ognuno di essi ha dato luogo a soluzioni viarie differenti, dai sentieri per i percorsi a piedi, fino alle ferrovie e alle autostrade per le alte velocità. Ognuna di queste ha implicato differenti trasformazioni del territorio alterando in maggiore o minore misura il paesaggio con l'inserimento di nuovi elementi sul territorio stesso.

La strada è un'opera lineare, non è percepibile nel suo complesso. Per vederla è necessario percorrerla, la sua percezione è sequenziale con il procedere del percorso. Il ponte è parte della strada e, in quanto tale, viene incluso nel processo di cambiamento visuale che la strada impone. Contemporaneamente costituisce un oggetto singolare nella strada, visibile e comprensibile come insieme soltanto per un momento e la sua presenza nell'ambiente geografico viene percepita in modo differente.

Il primo problema che comporta la presenza delle opere di ingegneria nel paesaggio, problema del resto condiviso con le opere di architettura che normalmente si incontrano nel paesaggio urbano, è la loro inevitabilità, in modo diverso da quanto accade per altre creazioni umane. Possiamo non leggere un libro, non vedere un dipinto, una scultura o un film, né tanto meno ascoltare un'opera musicale, se non lo vogliamo. Non possiamo, al contrario, evitare di vedere un edificio, un ponte, o una diga, trovandoci nei loro pressi. Questo comporta una speciale responsabilità a carico dei progettisti, poiché queste opere si impongono allo spettatore, che lo si voglia o meno.

Il secondo problema riguarda l'alterazione dell'ambiente naturale, o di quello, come l'ambiente urbano, che nel tempo viene assunto come ambiente naturale. Questo costituisce il tema più spinoso che l'ingegneria propone alla società. L'opera pubblica ha sempre carattere sociale e in quanto tale dovrà risultare un bene collettivo. Allo stesso tempo però può

essere considerato da alcuni un male, o un danno ecologico irreversibile. Un'autostrada favorisce le comunicazioni e pertanto avvantaggia i suoi utilizzatori, nessuno di costoro però desidera che l'autostrada passi vicino la propria abitazione. Un lago artificiale è una riserva d'acqua, bene che scarreggia e che produce molteplici benefici. Rappresenta però un grave danno per chi è costretto ad abbandonare la propria casa e le terre che andranno sommerse. Inoltre, la realizzazione di un vaso artificiale comporta sempre la scomparsa di un'area geografica i cui valori ambientali dovrebbero invece essere preservati.

La valutazione delle alterazioni che l'opera d'ingegneria produce sull'ambiente nonché lo studio di misure correttive da adottare per mitigarne gli aspetti negativi che influiscono sul paesaggio e nell'ambiente ecologico circostante, sono state inserite recentemente in una nuova disciplina dell'ingegneria. Di tale valutazione si deve tenere conto nei diversi livelli di progettazione: nello studio di fattibilità, nel progetto di massima e in quello esecutivo. Nel momento della pianificazione potrebbe infatti essere determinante l'adozione di una soluzione alternativa. Nel progetto di massima e in quello esecutivo si studieranno le misure necessarie per limitare l'impatto negativo sull'ambiente. Questa è quella che attualmente viene chiamata valutazione di impatto ambientale, definizione che a noi sembra poco fortunata.

Il dibattito suscitato nella società per le alterazioni dell'ambiente causate dalle opere di ingegneria produce atteggiamenti molto differenti, i cui estremi vanno dall'impostazione dedotta dal pensiero di A. MALRAUX: "è bene conservare i luoghi, è meglio tuttavia crearli",<sup>6</sup> all'attività degli ecologisti radicali, che considerano qualsiasi alterazione dell'ambiente esistente come negativa, e in quanto tale da evitarsi assolutamente, negando così qualunque possibilità di intervento. Questa radicalizzazione delle posizioni, che soffre peraltro di notevoli oscillazioni in brevi intervalli di tempo, è dovuta in gran parte alla mancanza di conoscenza che la società in genere ha delle problematiche dell'ingegneria; essa viene utilizzata ma non compresa e, pertanto, svalutata.

L'alterazione che il ponte produce sul paesaggio può risultare positiva o negativa, in relazione all'ambiente fisico dove questo si realizza, all'adeguamento dell'opera nel suo contorno, alla qualità dell'opera realizzata, alle trasformazioni che si determinano nell'ambiente, ecc.