

PONTI *engineering e design.* Una rassegna di immagini commentata sulle opere più significative degli anni 2000

ROBERTA PANZA

Negli ultimi anni la tecnologia ha fatto passi da gigante in ogni settore, e anche nella progettazione dei ponti ha contribuito alla realizzazione di strutture sempre più ardite. Oggi i progettisti possono scegliere tra diverse tecnologie di costruzione: si va dal ponte ad arco dove la trasmissione dei carichi al suolo avviene principalmente mediante sforzi di compressione, al ponte a travata, dove la trave appoggiata in più punti trasmette i carichi agli appoggi mediante un meccanismo di flessione, fino alle strutture più moderne, come i ponti sostenuti dai cavi, i ponti sospesi e i ponti strallati. Allo stesso modo, anche l'utilizzo di nuovi materiali come l'acciaio duplex, l'acciaio al carbonio, il cemento ad alta prestazione in aggiunta ai materiali tradizionali quali il legno e la pietra, hanno reso possibile per le strutture dei ponti una maggiore varietà di forme, per la copertura di luci sempre più ampie. Non è un caso che negli ultimi annigli esempi più interessanti di ponti non siano esclusivamente frutto di studi di ingegneria, ma che sempre più spesso lo studio della forma preveda la collaborazione di architetti di fama, che hanno trasformato queste strutture da prettamente funzionali in opere dalla forte caratterizzazione, con una attenzione sempre più ampia sull'impatto nel territorio. Come esempio di questa nuova tendenza nella progettazione dei ponti abbiamo scelto alcuni esempi significativi, evidenziandone l'aspetto della struttura e le problematiche affrontate per la loro realizzazione.

MODULO PAROLE CHIAVE

PONTE AD ARCO – PONTE A TRAVATA – PONTI SOSTENUTI DA CAVI – PONTI SOSPESI – PONTI STRALLATI – ACCIAIO DUPLEX – ACCIAIO AL CARBONIO – CEMENTO AD ALTE PRESTAZIONI – LEGNO – PIETRA – IMPATTO AMBIENTALE



©edwin.11



modulo 390 • 391

©Chad K

A sinistra, Jusselino Kubitschek Bridge.
Al centro, Henderson Waves Bridge.
A destra, Sundial Bridge

*Sundial Bridge – Stati Uniti – Ponte strallato autoportante
Progetto di Santiago Calatrava*

Sundial Bridge, inaugurato nel 2004, è il primo ponte strallato autoportante realizzato negli Stati Uniti da Santiago Calatrava, architetto e ingegnere di fama internazionale. Collega il TurtleBay Exploration Park e McConnell Arboretum, attraversando il fiume Sacramento.

Progettato per essere un vero e proprio monumento di riferimento riconoscibile anche da lontano, il ponte non ricerca una naturale fusione architettonica con il contesto, ma rispetta l'equilibrio ecologico dell'area del fiume Sacramento, considerata una tra le dieci migliori aree di pesca nel mondo. L'unico pilone dell'altezza di 66 metri che sostiene il ponte è stato realizzato sulla costa del fiume e grazie alla sua particolare inclinazione a 42° gradi esercita una trazione ascendente sui cavi permettendo di reggere l'intera struttura. L'assenza di supporti nell'acqua, oltre a permettere la visione del fiume attraverso la passerella realizzata in pesanti blocchi di vetro, evita la deposizione delle uova del salmone intorno ai piloni. Inoltre, sempre per non recare disturbo all'equilibrio ecologico causando danni alla fecondazione della fauna marina, il ponte è stato progettato in modo che l'ombra del ponte non fosse mai proiettata nell'acqua, per evitare il conseguente abbassamento della temperatura. L'ombra del pilone, invece, proiettata a terra diventa una meridiana, indicando le ore del giorno nel solstizio d'estate. Vicino alla base del pilone, larga 32 metri, è realizzato un piccolo spiazzo delimitato da muri rivestiti con mosaici e piastrelle provenienti dalla Spagna, che contribuisce a rendere anche la parte inferiore del ponte altrettanto attraente. Il ponte ha una struttura in acciaio con cavi in acciaio zincato; la passerella è realizzata con spessi pannelli di vetro antiscivolo inseriti in riquadri di acciaio, che viene illuminata di notte stagliandosi e differenziandosi dal fiume. Per Calatrava questo ponte ha anche un valore fortemente simbolico: la sua somiglianza ad un uccello in volo simboleggia il superamento delle avversità, e celebra la creatività e l'ingegno umano

A sinistra, Sundial Bridge. Al centro, Jusselino Kubitschek Bridge. A destra, Henderson Waves Bridge.



©quinn porton

©Mugnatto

©BmwSpiegel

A sinistra, Juscelino Kubitschek Bridge. Al centro, Henderson Waves Bridge. A destra, Sundial Bridge.



Henderson Waves Bridge – Singapore - Ponte pedonale

Progetto di JJP Corporation, Londra; RSP Architects Progettisti e ingegneri (PTE), Singapore

L'Henderson Waves Bridge a Singapore è un ponte pedonale lungo 274 metri che passa sopra Henderson Road, una superstrada a sei corsie, a 36 metri di altezza, e collega Mount Faber Park e TelokBlangah Hill Park. È stato progettato da JJP Corporation di Londra, e RSP Architects Progettisti e ingegneri (PTE) Ltd Singapore.

La struttura del ponte, dalla forma morbida ad onda, perfettamente integrata nel paesaggio, è stata realizzata con nervature d'acciaio curve che alternativamente salgono sopra e sotto la passerella. La struttura ad onda sul livello superiore del ponte funge da tettoia per il riparo dal sole e determina anche delle nicchie adibite a sedute, mentre la parte inferiore, non accessibile, contribuisce a dare continuità alla struttura. Il ponte è costituito da sette campate, sei di 24 metri di lunghezza e 3,5 metri di altezza e una di 57 metri di lunghezza e 6 metri di altezza. Due ponti inclinati collegano il ponte ad entrambe le estremità. La struttura principale del ponte presenta una sequenza di archi in acciaio e catenarie collegati ai piloni in cemento armato. Per il rivestimento della passerella pedonale sono state utilizzate doghe in legno del sud asiatico. In questa realizzazione è stata operata una scelta stilistica mirata a differenziare il materiale utilizzato per la struttura in acciaio dal legno, usato invece per il rivestimento. La particolare struttura ad onda è illuminata di notte da proiettori.

Juscelino Kubitschek Bridge – Brasilia – Ponte a tre campate

Progetto di Alexandre Chan architetto e Mário Vila Verde ingegnere

Il JuscelinoKubitschek Bridge, noto anche come Ponte JK, è un ponte in acciaio e cemento che attraversa il lago Paranoá a Brasilia e collega la parte meridionale del lago con la città. Progettato dall'architetto Alexandre Chan e dall'ingegnere strutturale Mário Vila Verde è stato inaugurato nel 2002.

La struttura del ponte, costituito da tre campate, ha una lunghezza totale di 1.200 metri una larghezza di 24 metri, due carreggiate con tre corsie per senso di marcia, due passerelle ai lati per i ciclisti e pedoni di 1,5 metri di larghezza.

La struttura della campata principale è costituita da quattro pilastri di sostegno sommersi nel lago. Il peso è supportato da tre archi in acciaio che attraversano la piattaforma diagonalmente e ai quali sono agganciati in modo alternato ad ogni lato del ponte i cavi di acciaio. La struttura degli archi è stata realizzata, posizionando inizialmente l'arco metallico start-up, collegandolo direttamente alle sezioni del calcestruzzo sporgenti dalle fondazioni appena sotto il livello del ponte. Dopo la realizzazione del cassero di supporto in acciaio, si sono posizionati i vari segmenti dell'arco trasportati con l'ausilio di piattaforme galleggianti e posizionati con le gru. La realizzazione della cassaforma di supporto è servita per il contenimento degli elementi, per la saldatura finale e la gettata in opera, che è stata eseguita di notte per le migliori condizioni di temperatura.

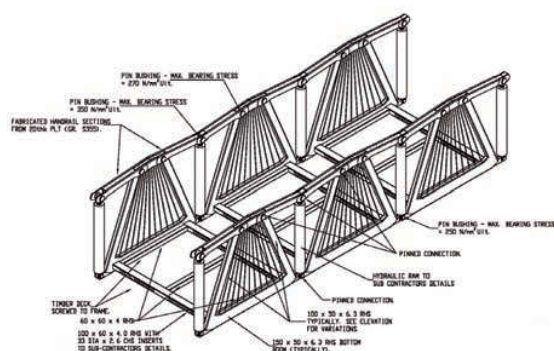
Per le sezioni delle arcate che sporgono direttamente dalla superficie delle acque è stato utilizzato un cemento ad alte prestazioni. Durante questa fase i casseri sono stati sorretti dal ponte con sostegni permanenti e anche con l'ausilio di sostegni temporanei. Una delle problematiche affrontate in fase di realizzazione era evitare il più possibile che si esercitasse sulle fondazioni la forte spinta di forze orizzontali, rendendo necessario che tutti gli archi fossero costruiti e posizionati quasi contemporaneamente. Per ovviare a questo inconveniente durante la costruzione del ponte è stato necessario realizzare un gran numero di supporti temporanei, anche per la sospensione e la posizione dei cavi.

Per la progettazione di questo ponte l'architetto progettista Alexandre Chan ha vinto la medaglia Gustav Lindenthal alla Conferenza Internazionale Ponte 2003 a Pittsburgh. A questo ponte è stato anche assegnato il Premio Abcem 2003 per la miglior opera in acciaio dell'anno, Categoria Ponti e autostrade, offerto dalla Associação Brasileira de Construção Metálica.

*Rolling Bridge – Londra – Ponte levatoio retrattile
Progetto di Thomas Heatherwick architetto in col-
laborazione con Anthony Hunt e Packman Lucas
ingegneri dello studio SKM*

Un altro ponte molto innovativo sia nel design che nella struttura è il Rolling Bridge, inaugurato a Londra nel 2004, progettato dall'architetto inglese Thomas Heatherwick, con la collaborazione degli ingegneri Anthony Hunt e Packman Lucas dello studio SKM. Tradizionalmente con il termine "Rolling Bridge" si descrive un tipo di ponte levatoio retrattile usato per attraversare un fossato che circonda una fortificazione. In questo progetto il concetto è stato esteso all'avvolgimento completo della struttura, conferendogli il primato dell'innovazione di questa tipologia ed il conseguimento di numerosi premi, tra cui il British Structural Steel Design Award nel 2005.

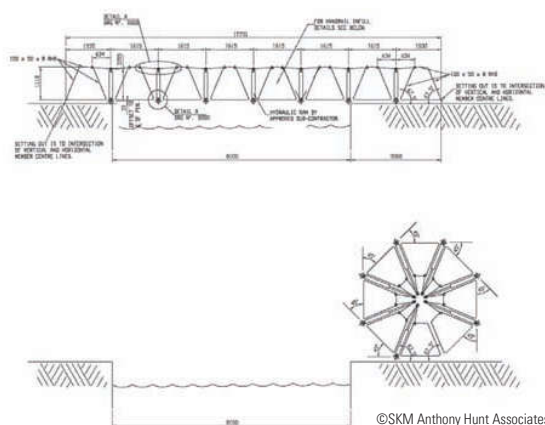
Oltre a fornire un attraversamento pedonale del Grand Union Canal a Paddington Basin per i lavoratori e residenti, il ponte londinese consente il transito delle barche ormeggiate nell'insenatura. Questo ponte in movimento, dalla forte connotazione ingegneristica, si inserisce in un contesto di arredo urbano, divenendo una gigantesca scultura nella fase di chiusura. Quando il ponte è esteso, assolve alle sue funzioni di attraversamento pedonale, configurandosi come un ponte tradizionale realizzato in acciaio e in legno con la sua lunghezza di 12 metri; quando si chiude unendosi e arricciandosi sulle due estremità grazie a dei pistoni idraulici, consente il passaggio delle imbarcazioni trasformandosi dalla forma convenzionale di ponte in una scultura circolare sulla riva del canale. Questo movimento è reso possibile dalla particolare configurazione della struttura. Il ponte è costituito da otto sezioni triangolari che



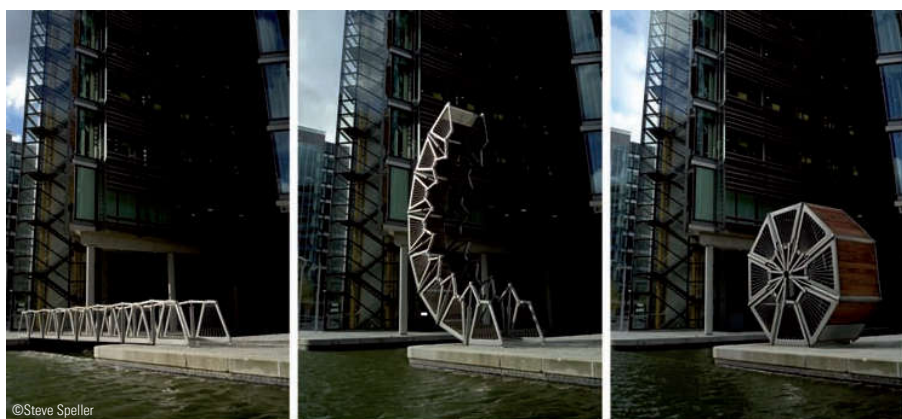
©SKM Anthony Hunt Associates

fungono da parapetto, incernierate ad altrettante otto sezioni rettangolari della passerella; la prima sezione è fissata saldamente ad un lato della banchina. Tra una sezione triangolare del parapetto e l'altra è posizionato un montante contenente un pistone idraulico.

Questi pistoni in azione spingono la porzione di parapetto in alto, dando luogo al movimento di innalzamento e di arrotolamento della struttura. Durante il meccanismo di apertura e di chiusura, il ponte può essere fermato in ogni momento. La natura particolare del ponte, progettato per aprirsi e chiudersi in soli 180 secondi, ha portato una serie di sfide progettuali e di calcoli strutturali applicati ad una struttura che deve rispondere oltre alle sollecitazioni di taglio flessione e compressione di un ponte tradizionale anche le condizioni di carico associate al movimento dello stesso. Oltre al progetto, anche la realizzazione si è rivelata assai impegnativa. Per ottenere la geometria della configurazione nella sua forma chiusa, è stato necessario progettare la struttura con le stesse tolleranze consentite dell'ingegneria meccanica. Quando è chiuso infatti i componenti del corrimano convergono al centro con poco meno di 10 mm di distanza tra loro.



©SKM Anthony Hunt Associates



©Steve Speller

HelixBridge – Singapore – Ponte pedonale a tre campate

Progetto di CoxRayner architetto e Arup engineering

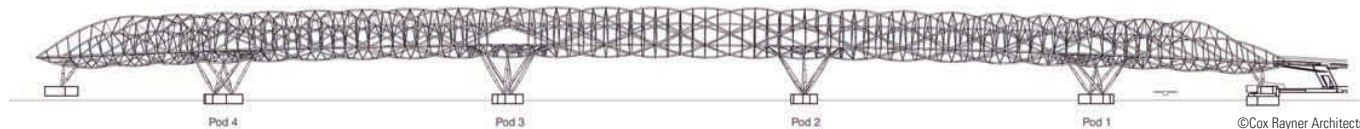
L'HelixBridge, lungo 280 m e costituito da tre campate di 65 m e due campate da 45 m finali, è il più lungo ponte pedonale di Singapore e collega Marina Centro con Marina Sud, formando una curva vicino al Ponte di Bayfront. Inaugurato nel 2010, il ponte è caratterizzato da un disegno a doppia elica che richiama la struttura del DNA ed è il risultato della collaborazione tra l'architetto CoxRayner e l'ingegnere Arup. Questo ponte è il primo a livello mondiale ad avere applicato la forma elicoidale nella sua struttura.

Il progetto doveva soddisfare fin dall'inizio diverse necessità. Da una parte il desiderio del progettista di realizzare una forma morbida curva in pianta per collegare la passeggiata tra una battigia e l'altra, realizzando una struttura leggera e in contrasto con i due ponti esistenti, il Benjamin Sheares Bridge (in calcestruzzo precompresso, inaugurato nel 1981) e il ponte Bayfront, dedicato al trasporto veicolare di sei corsie dall'aspetto piuttosto imponente. Dall'altra il desiderio di rendere la passeggiata ed il percorso sul ponte il più confortevole possibile. A causa del clima tropicale si rendeva necessario realizzare una struttura che fornisse ombra e riparo dall'esposizione diretta del sole, proteggendo il transito pedonale dalle forti piogge. Il nuovo ponte doveva inoltre, per rispondere alle richieste del concorso, diventare il simbolo della rinascita e dell'attività culturale del luogo.

Per soddisfare queste esigenze è stata progettata una struttura a doppia elica sinuosa e dinamica in traliccio tubolare in grado di resistere alle sollecitazioni e ai carichi di progetto che richiama simbolicamente la struttura del DNA.

Le due eliche, una esterna con un diametro complessivo di 10,8 m e l'altra interna di 9,4 m si sviluppano a spirale in direzione opposta, creando un sapiente gioco di intrecci e rendendo la forma particolarmente dinamica. L'elica esterna è formata da sei tubi di 273 mm di diametro, equidistanti tra loro, mentre l'elica interna è formata da cinque tubi dello stesso diametro. I tubi dell'elica si toccano solo in un punto e sono collegati tra loro nello sviluppo della spirale da una serie di puntoni e tiranti leggeri che fungono da anelli di irrigidimento della struttura. Il ponte in acciaio inox, che pesa circa 1700 tonnellate, è supportato da pilastri di cemento posizionati ai lati, e da colonne rastremate in acciaio piene di cemento che formano un treppiede rovesciato in corrispondenza delle piattaforme di osservazione.

La particolare struttura di questo ponte ha permesso nella porzione della spirale interna la realizzazione di tettoie in pannelli di vetro e di acciaio, creando così nel percorso delle aree coperte per fornire ombra per i pedoni. Sul ponte sono presenti in posizioni strategiche quattro piattaforme di osservazione a sbalzo, ciascuna in grado di ospitare circa 100 persone. Tali piattaforme offrono ai visitatori una vista mozzafiato sullo skyline di Singapore, consentendo di assistere agli eventi che si svolgono all'interno di Marina Bay. Il ponte, oltre ad essere un collegamento tra i principali distretti urbani di

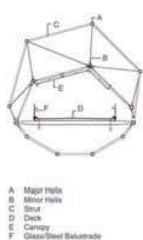




©Cox Rayner Architects



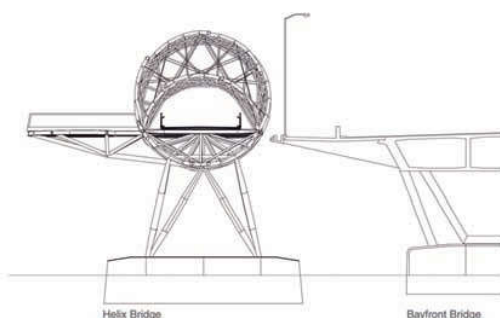
©Cox Rayner Architects



- A Major Helix
- B Minor Helix
- C Strut
- D Deck
- E Canopy
- F Glass/Steel Balustrade

Bridge Section

©Cox Rayner Architects



Helix Bridge

Bayfront Bridge

Singapore, è progettato per diventare un luogo urbano da vivere in modo "stanziale".

Anche l'illuminazione notturna del ponte è stata progettata per evidenziare e sottolineare la forma, creando una particolare esperienza visiva per i visitatori e contribuendo ad amplificare la connotazione simbolica. Da una parte un impianto per illuminare il passaggio costituito da luci discrete e diffuse orientate verso l'interno della struttura e la volta in vetro, dall'altra un impianto costituito da un nastro di luci multicolore e intermittenti (LED) con fascio luminoso forte e puntuale diretto verso l'esterno che accentua l'interazione dei due tubi ad elica e delle cravatte di collegamento della struttura. L'Helix Bridge, presenta un'altra interessante particolarità costruttiva: dagli studi progettuali è emerso che per la sua realizzazione era necessario utilizzare solo un quinto di acciaio rispetto alla struttura tradizionale di un ponte a trave scatolare.

Ciò ha reso possibile, nel rispetto del budget, realizzare l'intera struttura in acciaio inossidabile garantendone la sua longevità e riducendo al minimo la manutenzione. L'Helix Bridge è stato realizzato utilizzando circa 650 tonnellate di acciaio inossidabile duplex, dall'elevata resistenza strutturale, comunemente usato nell'industria chimica per il trasporto di materiali altamente corro-

sivi, e 1000 tonnellate di acciaio al carbonio, ed è costato circa 68 milioni di dollari.

Anche la costruzione è stata una prodezza di ingegneria visto che la particolare struttura ha richiesto una grande precisione sia nella fabbricazione che nel processo di assemblaggio in loco, ed è stata possibile solo utilizzando le tecnologie più avanzate. I singoli componenti, fabbricati fuori sede a causa della natura dello speciale acciaio duplex, sono stati realizzati ed assemblati con una lunghezza media di 11 metri, tenendo conto della dimensione massima trasportabile in base alle restrizioni stradali di Singapore.

Durante la costruzione è stato necessario mantenere un canale di navigazione della larghezza di 50 m e con un ingombro verticale di sicurezza per l'attraversamento delle navi. Per potere procedere con la realizzazione e l'assemblaggio di tutte le parti strutturali del ponte definitivo è stato necessario realizzare un ponte in acciaio strutturale temporaneo. La struttura ad elica è stata installata e saldata in loco partendo dalle componenti della parte inferiore e procedendo verso l'alto, compresa l'installazione di tutti i montanti e tiranti uniti alle eliche attraverso dei perni. Il montaggio progressivo degli elementi è stato organizzato, per ridurre al minimo i ritardi, con un costante monitoraggio e controllo e sperimentando il montaggio di prova in laboratorio prima del trasporto sul sito.

L'Helix Bridge ha vinto il premio al World Architecture Festival Award del 2010 come "migliore struttura del mondo per il trasporto".

*Viadotto Millau – Francia – Ponte strallato
Progetto di Norman Foster architetto e Michel
Virlogeux ingegnere*

Non è recentissima quest'opera, ma è sicuramente un elemento infrastrutturale di straordinaria potenza ingegneristica e architettonica. Il Viadotto autostradale di Millau, in Francia, inaugurato il 17 dicembre 2004, è il più alto (l'estremità dell'albero più alto raggiunge i 1120 metri) ponte strallato in Europa. Si sviluppa sul fiume Tarn con una leggera curva discendente della pendenza del 3% e un raggio di curvatura di 20 km, collegando la sponda francese della vallata con la sponda spagnola. La collaborazione tra l'ingegnere civile Michel Virlogeux, e l'architetto Sir Norman Foster ha permesso di realizzare un ponte estremamente innovativo sia dal punto strutturale che del design. Nonostante la sua altezza, 343 metri più della Torre Eiffel, e la quantità impressionante dei materiali utilizzati (27.000 metri cubi di cemento armato, 19.000 tonnellate di acciaio e 5000 tonnellate di cemento pre-stressato per i cavi) la struttura di questo viadotto appare estremamente leggera ed aerea, attraversando il vuoto e integrandosi perfettamente nel contesto del Parco naturale dei Grands Causses e dei Causses & Cévennes (Patrimonio mondiale dell'umanità dell'Unesco).

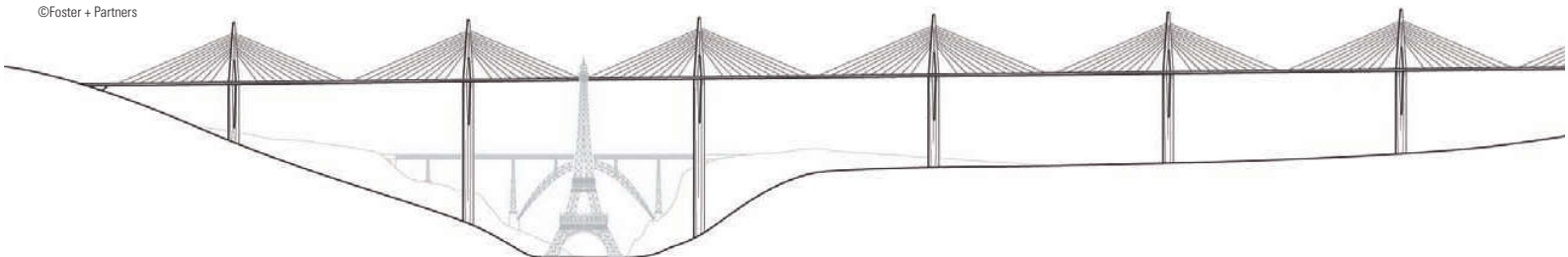
Visto da lontano il viadotto assomiglia a una linea di vele fluttuanti dall'aspetto arioso e leggero che nasconde le componenti strutturali e permette all'automobilista che lo percorre di avere tutta la prospettiva panoramica, trasmettendogli la sensazione di volare, come voleva Sir Norman Foster. L'innovativa costruzione utilizza un solo set di cavi, posizionato al centro del ponte tra i due sensi di marcia delle carreggiate, anziché ai lati. Il pilone si suddivide ad una certa altezza in due per poi ricongiungersi all'estremità rendendo la struttura più flessibile e performante. Riducendo al minimo il profilo in elevazione sotto la carreggiata, permette una migliore contrazione ed espansione della struttura sollecitata dai carichi. Inoltre l'impressio-



©Nigel Young - Courtesy Foster + Partners

ne che ne deriva è che i piloni siano cresciuti dal terreno in una visione architettonica di fusione con la natura, in linea con la convinzione di Foster. Diverse sono state le problematiche che si sono dovute affrontare sia in fase di progettazione che in fase di realizzazione, a partire dall'analisi geologica. Il terreno di carattere calcareo, con la presenza di diverse cavità dove si sviluppano i batteri responsabili della muffa blu necessaria per fare il formaggio Roquefort, fiore all'occhiello di questo territorio, ha reso fin dall'inizio problematica la progettazione di una struttura di queste dimensioni. Il calcare incrinato avrebbe potuto dare origine a disastrose frane. Gli ingegneri geotecnici hanno dovuto adoperarsi analizzando tutti gli aspetti tecnici del percorso con estrema scrupolosità, posizione per posizione, per assicurarsi della fattibilità della costruzione, trovando via via soluzioni alle diverse sfide che si presentavano.

La sfida successiva da superare era la necessità di forare e seppellire le fondamenta dei piloni in profondità nella roccia, senza compromettere l'area circostante ed individuando il modo di sostenere adeguatamente questi pilastri nel terreno. Que-



sta fase di studio preliminare, che ha visto la stretta collaborazione degli ingegneri geotecnici e gli ingegneri strutturalisti, è durata circa 14 anni. I sette piloni sono stati affondati in pozzi di cemento armato a forma piramidale. La costruzione iniziata il 16 ottobre 2001, è terminata nel dicembre 2004. Un'ulteriore sfida è stata la costruzione ed il posizionamento del viadotto. A sostegno del viadotto sono presenti sette piloni, in acciaio e cemento, che sorreggono a 240 metri di altezza una lastra di acciaio della lunghezza di 2460 metri, su cui corrono quattro corsie, due per senso di marcia. I due piloni vicino agli appoggi di fondazione (alti dai 12 ai 20 metri) sono stati posizionati utilizzando le gru, mentre per gli altri cinque, la cui altezza oscillava tra gli 87 e i 163 metri, è stato utilizzato un sistema telescopico idraulico che ha permesso di sollevarli verticalmente a stadi, metro per metro, e collocarli in posizione. Terminata la costruzione di un pilone, l'attrezzatura di sollevamento e il sistema idraulico sono stati fatti scorrere in corrispondenza del successivo pilone. Uno dei problemi principali che si sono dovuti affrontare in fase di realizzazione è stato quello di garantire e assicurare, visto il grande sviluppo in altezza, il corretto posizionamento dei piloni. Un errore di posizione inferiore ai 2 cm alla base della struttura, sviluppato su tutta la lunghezza, poteva infatti rappresentare un grave rischio di stabilità per tutta la struttura. Per garantire la massima precisione, si sono utilizzati



©Foster + Partners



avanzati sistemi di localizzazione gps in ogni fase della costruzione. Un'ulteriore sfida che hanno dovuto fronteggiare i progettisti è stata quella di calcolare la forza del vento, che a quella altezza dal suolo può raggiungere i 150 km/hr, e la cui azione incide pesantemente sia sulla solidità della struttura che sulla sicurezza dei conducenti delle automobili che transitano sul ponte. Per risolvere questo problema sono stati applicati alcuni accorgimenti che preservando la struttura dall'azione del vento hanno reso più sicuro il transito veicolare. È stata realizzata una struttura curva aerodinamica simile all'ala di un aereo posizionata sui lati esterni

del piano di transito; questa permette di tagliare il vento intorno al ponte convogliandolo verso l'alto, riducendo notevolmente in questo modo il rischio di torsione della struttura. Inoltre a maggiore garanzia della sicurezza dei conducenti sono stati installati dei frangivento grigliati curvi per tutta la lunghezza del ponte che contrastando il peso del vento lo spingono lontano dalla strada verso l'alto. Data la forte attrattività turistica scaturita dalla realizzazione del viadotto, si sta esaminando un progetto che consente di ricavare nei pilastri di questa grande costruzione un sistema di ascensori e oblò, per permettere ai turisti di ammirare il panorama sul Massiccio centrale francese.

Il viadotto è costato circa 300 milioni di euro più altri 20 milioni di euro per la costruzione di una stazione di pedaggio.

©Stephane Compoint - Courtesy Foster + Partners

