

Caro Enzo,

risponderti dopo un mese mi sembra un po' troppo in confronto alle 3 ore e mezza che hai impiegato tu! E' che avrei voluto risponderti mandandoti qualcosa di interessante, ma - purtroppo o fortunatamente - ho ancora troppi impegni per un 85enne.

Cerco di rimediare mandandoti una delle prime fonti della mia passione per i ponti: avevo 5 anni quando vidi le foto (queste ed altre) del mio papà che costruiva ponti in Africa, sulla strada n. 2 (allora si chiamava "della Vittoria") nella tratta Dessié - Debra Sina, come ingegnere alle dipendenze della famosa Ditta "Puricelli Strade e Cave", divenuta poi nel dopoguerra "Italstrade".

Le foto-tessera, purtroppo poco ingrandibili, si riferiscono alla costruzione di un ponte presso Sendafa' nel maggio 1937. Sul retro di una foto c'è l'annotazione "Ponte gettato in un giorno ed una notte alla luce dei fari dei camion" di pugno di mio padre, che ovviamente è quello con i calzoncini corti ed il basco bianco.

L'altro allegato è estratto da un disegno completo del manufatto e denuncia chiaramente con la grafica la sua epoca.

La luce oggi appare modesta, ma di tutto rispetto è il ribassamento di 1/10.

Spero di poter avere il tempo di mandarti ancora qualcos'altro su ponti africani.

Con molta cordialità, buona Domenica!

Raffaello

Raffaello Bartelletti: un ingegnere romantico

Anna DE FALCO - Maria GIRARDI - Benedetto MAGGIO

SOMMARIO

Definire un ingegnere *romantico* piuttosto che *positivista* o *empirista* potrebbe sembrare una contraddizione in termini, dato che questi ultimi atteggiamenti sono tradizionalmente considerati più vicini alla scienza e alla tecnica. Tuttavia, ogni persona, al di là della fase storica e delle mode, è pur sempre una combinazione più o meno bilanciata di tendenze e inclinazioni, talvolta contrapposte. È così potuto accadere che per Raffaello Bartelletti l'appellativo di romantico abbia trovato tra noi autori un comune istintivo consenso, confermato successivamente nel corso della descrizione delle sue opere, in cui ci affioravano i ricordi del suo approccio metodologico, ma anche emotivo, e dei significati da lui riposti in ognuna di esse.

Per recuperare la memoria di fatti e situazioni con l'acquisizione della necessaria documentazione ci siamo avvalsi del prezioso supporto di quanti proseguono l'attività dello Studio Bartelletti e, in particolare, di Marco Pascucci che, più veterano tra i collaboratori e oggi custode dell'eredità professionale di Bartelletti, ci ha guidato nella raccolta e nell'elaborazione del materiale e delle informazioni essenziali.

Al termine di questo percorso, rievocazione sia tecnica sia di esperienza umana, siamo ancora più convinti che "ingegnere romantico" non sia semplicemente una definizione appropriata, ma la più autentica rappresentazione dell'essenza di Raffaello Bartelletti, un professionista il cui spirito e la cui visione rappresentano le prerogative di una figura per noi straordinaria e unica.

INTRODUZIONE

Raffaello Bartelletti è stato un ingegnere romantico. Questa definizione non è certamente legata alla sua originaria formazione classica - che affiorava, comunque e senza eccessi, tra i discorsi di natura tecnica - né a una concessione lirica a una materia tipicamente tecnica e sempre trattata con rigore qua-

ABSTRACT

Defining an engineer as *romantic* rather than *positivist* or *empiricist* might initially seem unconventional, as the latter attributes are traditionally more closely associated with science and technology. However, beyond historical periods and trends, every individual embodies a balanced and sometimes contrasting mix of tendencies and inclinations. Therefore, the title "romantic" for Raffaello Bartelletti naturally garnered a shared and instinctive agreement among us, the authors. This interpretation was later confirmed during an in-depth examination of his works, which recalled memories of his methodological yet deeply emotional approach.

To reconstruct the memory of past events and situations and gather the necessary documentation, we relied on the invaluable support of the engineers who are still carrying on the work of Studio Bartelletti. In particular, Marco Pascucci - the most veteran of Bartelletti's collaborators and now the custodian of his professional legacy - guided us in collecting and organizing the essential materials and information. After this technical and human journey, we are even more convinced that the term "romantic engineer" is not merely an appropriate designation but also the most authentic representation of Raffaello Bartelletti, whose spirit and vision exemplify the ideals of an extraordinary and singular figure.

si scientifico, quanto piuttosto al fatto di concepire la relazione tra progettista e opera tanto intima da sfumare in quella tra padre e figlio. Come traspariva dalle sue lezioni, i ponti furono per lui dapprima i γέφυραι, poi i *pontes*, e infine, attraverso i molti *bridges* e i particolarmente cari *ponts* della Francia - paese a cui era intellettualmente molto legato - i ponti della sua attività professionale.

In questa sequenza storica, che è anche catena evolutiva, ha sperato a ragione di scorgersi come anello di continuità tra quelli che nell'unire due sponde opposte lo avevano preceduto e quelli che lo avrebbero poi seguito. Sempre coscientemente responsabile del proprio ruolo professionale e sociale e senza mai rinnegare la nobiltà delle tradizioni tecniche, Bartelletti ha radicato la sua vena romantica proprio nella particolare visione della storia che procede *ad altiora*. Ciò spiega da un lato la propensione per il pensiero nuovo e originale, mai veramente rivoluzionario ma sempre suggerito da una solida esperienza di studio e lavoro, dall'altro la vocazione di insegnante, sempre pronto a dispensare suggerimenti e consigli a chi li richiedesse. Professore esimio lo era eccome, ma in questo contesto il termine rischia di assumere un'indesiderata connotazione accademica ed elitaria. Colleghi, allievi o professionisti che fossero, era ininterrotto il viavai di persone tanto verso il suo ufficio all'università, quanto presso il suo studio professionale.

La sua grande passione per il lavoro si accendeva particolarmente su aspetti singolari, che riguardavano anche opere poco appariscenti piuttosto che quelle d'imponente estensione ma dalle soluzioni relativamente ordinarie, e ciò rende motivo dell'interesse spiccato per le applicazioni nel campo degli edifici storici, come pure in quello degli edifici per la ricerca e l'innovazione. La sua attività, in definitiva, era fulcro di un eclettismo poliedrico, in cui gli interessi ingegneristici, già molto versatili nel campo strutturale, innescavano rapidi sguardi su altre scienze umane sconfinando nella cultura in generale.

Così nell'arco temporale degli ultimi sei decenni le sue opere hanno spaziato dalle infrastrutture stradali e ferroviarie, agli edifici civili e industriali di qualsiasi mole e tipologia costruttiva, alle costruzioni per lo sport, alla stabilizzazione delle frane e alle opere di contenimento, alle ristrutturazioni statiche e sismiche, all'apporto nei restauri o risanamenti conservativi su edifici esistenti, talvolta di tipo monumentale. Progetti, direzioni dei lavori, collaudi, studi, consulenze erano condotti con estremo rigore, coerenza e sobrietà comportamentale, accompagnati da sostanziale modestia. In confronto ai colleghi accademici, la sua figura di grande lavoratore, sempre disposto ad accollarsi in proprio ogni onere e responsabilità, appariva piuttosto schiva delle luci della ribalta che pure in molti casi, data l'importanza delle materie trattate, avrebbero potuto facilmente incrementare la sua notorietà.

Sempre poderosa e a volte sorprendente era la sua capacità di individuare la soluzione ai problemi pratici, alimentata e supportata da un materiale di immensi studi tenuti in punta di memoria, come una sorta di biblioteca vivente. A ciò si associava un vissuto di esperienze storiche sulla cui natura tecnica affiorava inevitabilmente una vena di comprensione profonda della natura e delle vicende umane.

Ma su tutto spiccava evidentemente l'amore per le

strutture da ponte, di cui percepiva istintivamente, e al di là della valenza tecnica, il fascino storico e ideale della funzione. In questo campo le ultime soluzioni da lui elaborate esprimono una progressiva spinta verso la modernità delle forme e la ricerca di una particolare ma composta leggerezza estetica, che usava chiamare *pulizia*, nella consapevolezza che non solo i manufatti progettati e realizzati sul territorio, ma anche la sua stessa esperienza avrebbero gettato un ponte verso il futuro.

Per questa idealità che trascende la stessa elevata produzione tecnico-scientifica, impossibile da compendiare nello spazio di una memoria, per noi autori, prima suoi allievi e poi collaboratori, Raffaello Bartelletti è stato fonte di insegnamento umano e professionale, molto al di là della mera esperienza universitaria.

IL CLASSICISMO DELLA NATURA E LA BELLEZZA DELL'ESSENZIALE

Forse mossa dalle stesse nostre considerazioni, nell'anno 2000 la dottoressa Liana Carraro redige una tesi di laurea dal titolo "Raffaello Bartelletti - verso l'Architettura strutturale", discussa presso l'Istituto Universitario di Architettura di Venezia sotto la guida di Enzo Siviero e di Gigliola Meneghini. La tesi contiene una serie di considerazioni mai teorizzate per iscritto da Bartelletti ma a lei personalmente riferite nel corso dei numerosi colloqui; pensieri che contribuiscono a gettare una luce più intensa sulla figura professionale di Bartelletti. Questa testimonianza non solo conferma quanto già intuito da parte dei suoi più attenti frequentatori, ma lo fissa in forma di memoria e di manifesto della sua personale concezione dell'approccio progettuale. Si scoprono così una filosofia e una poetica, più chiaramente delineate della generica espressione di "*garbo*", che sottendono e informano, come un *fil rouge* di estrema coerenza, tutta la sua opera progettuale.

In particolare, nel manoscritto spicca il tema del rapporto tra le esigenze statiche ed estetiche, attraverso il quale si dimostra che ciò che è semplicemente vero in natura è anche esteticamente gradevole. Le forme alla base dei nostri canoni di bellezza sono infatti quelle che percepiamo più armoniose in conseguenza dell'esperienza empirica, che ci fornisce il senso della giustezza e della proporzione nella misura in cui anche l'equilibrio è soddisfatto. Niente forzature, quindi, rispetto ai canoni classici che, si badi bene, non sono riferiti alla storia dell'architettura umana, ma direttamente alla primigenia esperienza della natura, la quale molto prima di noi si è spinta, evolutivamente, verso le forme che oggi vediamo. Nei quattro temi della statica, quello flessionale, funicolare, reticolare e spaziale, evidentemente resi noti anche da altri autori, si radicano spontaneamente sia il senso della stabilità, la nota *firmitas* vitruviana



Figura 1. Raffaello Bartelletti nel 2001. Foto sul Ponte delle Catene di Fornoli, a Bagni di Lucca (LU).

che nel gergo dell'architettura moderna suona più comunemente come *compostezza*, sia quello di *venustas* dell'armonia delle forme, e naturalmente quello di *utilitas* insito nello scopo dell'opera, senza il quale essa non avrebbe ragione di esistere.

Considerazioni queste che spiegano come in sostanza Raffaello Bartelletti sostenesse l'importanza di concepire e gestire il progetto in maniera completa, consapevole e compiuta, specialmente riguardo ai requisiti statici ed estetici e soprattutto in quelle opere, ponti e viadotti, in cui i due aspetti vanno di pari passo, esattamente come accade in natura.

È questa la chiave per comprendere il particolare interesse di Bartelletti verso le strutture "nude" - ponti sì, ma non solo; si pensi ad esempio alle tribune da stadio in cui difficilmente si deve cedere a compromessi di tipo diverso da quelli del contesto geometrico. E d'altra parte come dargli torto? È proprio nella sua veste di ottimizzatore e affinatore delle soluzioni statiche che possono esprimersi estro e abilità progettuale, mentre nella riproposizione di soluzioni ripetitive, ancorché di riconosciuta funzionalità, si rinviene soltanto la pur rispettabilissima esperienza pratica. Allo stesso modo si capisce il forte interesse per il restauro strutturale di edifici monumentali. Qui, infatti, il condizionamento non è dato da altra idea progettuale, ma dalla sola preesistenza in atto. Ogni velleità architettonica è infatti ormai consolidata, cristallizzata, esaurita da molti secoli. Il suo prodotto va sì rispettato, ma ha il pregio di essere ormai punto fermo e inamovibile ("*sovraordinato*"), né più né meno di altri vincoli naturali o antropici. Il compromesso pro-

gettuale ha quindi come controparte solo la Storia. Queste considerazioni inducono ad illustrare l'opera di Bartelletti e, sebbene essa presenti notevolissime sfumature, la necessità di semplificazione e compendio descritti condurrà alla distinzione di tre grandi filoni percorsi dalla sua attività: i ponti, le importanti strutture edilizie e gli interventi di consolidamento degli edifici storici e monumentali, dedicando un piccolo spazio anche agli interventi tipicamente geotecnici.

I PONTI

"*Chi sono i miei maestri... prima di tutto mio padre*" diceva Raffaello Bartelletti. Suo padre era ingegnere progettista che aveva costruito ponti in Africa Orientale dal 1936 al '40, sulla via da Asmara ad Addis Abeba. Ed è proprio con lui che Bartelletti tracciò per la prima volta, a soli 15 anni, il profilo policentrico di intradosso di un ponte, che poi è stato costruito proprio secondo il suo disegno: si tratta del ponte a due archi in muratura costruito nel 1947 sul fiume Camaiole in località Le Fabbriche.

L'esordio di Bartelletti come progettista di ponti avviene senz'altro dal 1962, con il progetto del Ponte sul Po a Boscotosca (PC) (Figura 2, Tavola dei ponti), poi risultato vincitore di appalto concorso, all'età di soli 30 anni, all'interno del gruppo di lavoro coordinato



Figura 2. Il ponte di Boscotosca (PC) in costruzione (a sinistra) e il collaudo il 31 luglio 1967 (a destra): il giovane Raffaello Bartelletti è al centro insieme al suo maestro, Letterio Donato.

da Letterio Donato, suo stimato e da sempre rispettato maestro. L'opera, sulla strada statale 412 della Val Tidone, fra Pieve Porto Morone (PV) e Castel San Giovanni (PC), sviluppata per ben 1.252 m, di cui 692 spettanti ai viadotti golenali di accesso e 560 al ponte vero e proprio, presenta campate di imponenti luci, quelle intermedie di 80 m, e quelle di riva di 66 m. L'impalcato in calcestruzzo armato precompresso post-teso, di luce di circa 62 m e larghezza complessiva di 17,50 m, costituito da 4 costole con soletta di completamento, poggia su mensoloni di 28 m, solidali a pile binate. Queste ultime, formate da due portali semplici disposti trasversalmente al ponte a interasse di 6,5 m, hanno i piedritti scomposti in due fusti divaricati a "V" verso l'alto, che già delineano il proposito della trasparenza visiva. Anche l'impalcato, ritagliato in ogni campata secondo l'intensità del momento flettente, con altezza minima in prossimità della sedia Gerber, risponde alla stessa filosofia. Bisogna tuttavia osservare l'uniformità del prospetto laterale dell'impalcato e l'assenza di alcuni degli espedienti tipici successivamente usati da Bartelletti, come la svasatura laterale o l'approfondimento degli aggetti laterali per creare ombra sull'impalcato e attenuarne la percezione. Ciò probabilmente a causa di vincoli che non conosciamo o dell'assenza di una chiara prevalenza stilistica all'interno del gruppo di lavoro. In seguito, Bartelletti avrà modo di affermare più chiaramente e in maniera poliedrica la sua capacità progettuale. Per illustrare la varietà e complessità delle scelte esecutive e dei manufatti progettati, in appendice abbiamo inserito una rassegna fotografica, nel seguito denominata "Tavola dei Ponti", in cui abbiamo riportato, in ordine cronologico, solo una piccola parte delle sue opere (nell'elenco di oltre 900 pratiche di archivio si annoverano più di 75 interventi di progettazione/esecuzione/rinforzo di strutture da ponte), le più significative delle quali sono commentate nel seguito.

Siamo quindi nel 1979 sul passo del Lagastrello, ancora in territorio di Toscana. Il bando dell'appalto-concorso emanato dalla Provincia di Massa-Carrara raccomandava l'adozione di una struttura isostatica, ma la conformazione dei luoghi e la natura del terreno fanno preferire la soluzione iperstatica ad arco-telaio, che infatti viene approvata. Nel corso di un anno circa, dal giugno 1979 all'agosto 1980, il grande ponte che attraversa il torrente Enza, tributario del Po, e mette in comunicazione Toscana ad Emilia-Romagna, viene realizzato in calcestruzzo armato gettato in opera su centina. Due ali laterali, rettilinee e leggermente rastremate, in cemento armato precompresso, raccordano l'arco alle spalle, su cui poggiano tramite apparecchi unidirezionali in acciaio e teflon. Il gruppo di progettazione, costituito da Raffaello Bartelletti, Marco Favilla e Rodolfo Nicotera, dimensiona la struttura del ponte per far fronte all'eventuale crollo della diga di Paduli, posta a monte dell'opera, come richiesto dal bando.

La luce dell'arco, vincolato alle imposte con cerniere tipo Freyssinet, è di 88 m, la freccia teorica di 13,40 m, la lunghezza totale tra i giunti di spalla di 121,65 m. Una poderosa centina, del peso complessivo di 300 t, forse una delle ultime apparizioni in Toscana di una classica struttura tubolare a doppio ventaglio di così grandi dimensioni, ha sostenuto il considerevole peso dell'opera nella fase di costruzione. Imponente anche lo scavo per le fondazioni incassate nella costa del monte, che raggiungono la profondità di circa 25 m. Il risultato ([Tavola dei Ponti](#)) è di estrema eleganza: la silhouette del ponte sembra ornare la vallata, che altrimenti apparirebbe spoglia e incompleta.

Gli anni '80 vedono l'inizio della maggior attività di Bartelletti nel campo dei ponti, in cui l'esperienza si fortifica con esempi di vario tipo. Già del 1979 è un'opera tra le più estese, il ponte sull'Arno alle Bocchette, progettato insieme a Stefano Caramelli, Carlo Raymondi e Luca Sampaolesi, in località Putignano ([Tavola dei Ponti](#)), con i 600 m circa del viadotto principale su 17 campate in travi prefabbricate post-tese in semplice appoggio, oltre ai quattro viadotti di svincolo in curva, molto diversi, con sezione trasversale a cassone perfettamente solidale alle pile per un intelligente risparmio di giunti e appoggi.

Nel ponte Carlo Alberto Dalla Chiesa, sul Serchio a Ponte a Moriano, vincitore di appalto-concorso e realizzato nel 1985, la soluzione è una trave continua totalmente gettata in opera su sette appoggi ([Tavola dei Ponti](#)), con le campate centrali di luce 52 m e quelle di riva di luce 32 m, con 5 pile a setto in alveo. Su ciascuna pila è presente un appoggio centrale in neoprene cerchiato che realizza una cerniera sferica e due appoggi laterali di neoprene armato per i carichi eccentrici. I vincoli sono tutti mobili tranne quello fisso sulla pila centrale, fondamentale per contrastare l'azione di frenamento. La sezione trasversale, che ospita una carreggiata di 11,5 m e due marciapiedi, è un cassone bicellulare di calcestruzzo armato ordinario, di forma trapezoidale, altezza di 2,70 m e privo di diaframmi intermedi, oltre a quelli nelle sezioni vincolate. Le pile, di forma allungata per facilitare il passaggio della corrente, poggiano su fondazioni di tipo diretto incassate nella roccia calcarea, mentre le spalle, di forma pressoché triangolare, sono fondate su tre pozzi del diametro di 3,50 m che raggiungono la roccia. La costruzione è realizzata con l'ausilio di una centina per una sola delle campate laterali e di travi metalliche reticolari ausiliarie, regolabili e di grande rigidezza, per tutte le altre campate. La scelta della trave continua - spiega Bartelletti - consente di costruire grandi luci e, nella fattispecie, la riduzione degli appoggi in alveo, elimina ove possibile i fastidiosi e costosi giunti di dilatazione, consente di progettare travate e pile più snelle, migliorandone il profilo idraulico, e fornisce gradi di iperstaticità utili a fronteggiare, con significativo margine di sicurezza, eventuali carichi imprevisti.

Di poco successivo è il viadotto sul torrente Zancona

([Tavola dei Ponti](#)), sulla strada provinciale S. Angelo-Castel del Piano che da Grosseto conduce all'Amiata, progettato da Raffaello Bartelletti e Luciano Caroti, per consentire l'eliminazione di una lunga ansa della strada che, seguendo una curva di livello del terreno, arrivava a superare il torrente su un modesto ponticello. L'opera, della lunghezza totale di 190 m, si sviluppa su 5 campate continue di luce 42 m, ridotta a 32 m per quelle di riva. La sezione è di tipo misto acciaio-calcestruzzo, con soletta di calcestruzzo armato su un cassone di sezione costante in acciaio corten ad anime inclinate, reso torsio-rigido attraverso diaframmi a interasse 6 m e controventato superiormente durante le fasi costruttive, in assenza della soletta. Le pile a setto hanno sezione costante, con altezza variabile da 17,55 m a 39,03 m, larghezza 4,50 m e spessore 1,50 m, alleggerite sui due lati lunghi per 2,50 m da una rientranza profonda nel centro, con spigoli arrotondati, favorevoli per la durabilità ed atti all'impiego dei casseri rampanti per la costruzione. L'impalcato è vincolato con appoggi di tipo fisso alla sommità delle pile che, data la loro notevole snellezza, ricevono un notevole vantaggio in termini di lunghezza di libera inflessione, senza subire l'insorgenza di importanti sollecitazioni per effetto delle variazioni di lunghezza dell'impalcato soggetto a variazioni termiche. È stato peraltro necessario impedirne l'eccessiva deformazione con adeguati stralli durante il varo di punta della travata che è avvenuto con l'ausilio di un avambecco. Dal punto di vista formale, sono caratteristiche salienti dell'opera la grande trasparenza dovuta alla sottigliezza delle pile e dell'impalcato, l'alternanza di colore tra il grigio delle pile con le striature dei casseri rampanti, il bruno delle lamiere metalliche in ombra e il grigio chiaro della barriera di calcestruzzo, che accentua con il suo rigore geometrico la sensazione di perfetta rettilineità dell'impalcato. Il ponte è uno dei primi esempi di travata continua in sistema misto realizzata senza l'impiego della precompressione nelle zone di momento negativo ed è uno dei primi in Italia in cui sono adottate le barriere stradali New Jersey. Uno o due anni dopo, sulla linea ferroviaria Livorno-Genova, vengono realizzati tre attraversamenti che hanno sostanzialmente la stessa funzione di generare il collegamento tra le porzioni di territorio separate dalla linea ferroviaria, in un momento in cui i passaggi a livello erano divenuti anacronistici, per l'intensificarsi sempre maggiore del traffico su ruote. Questi si susseguono da sud a nord in una porzione della tratta ferroviaria non superiore ai 5 km. Nonostante la similarità della funzione, le diverse condizioni geometriche del contesto e le variate direttive FFSS in tema rallentamento dei treni contribuiscono a rendere le tre opere sostanzialmente diverse, anche grazie alla capacità di adattamento del progettista ([Tavola dei Ponti](#)).

Nel *viadotto della Rondinella* gli impalcati sono costituiti da grigliati di travi prefabbricate dalle ampie piattabande e disposte ad interasse pari alla loro

larghezza, sì da creare una sezione trasversale pluricellulare perché esternamente chiusa ancorché non strutturalmente continua.

Nel *viadotto sulla Via Italica* (luci 21 + 27,50 + 27,50 + 27,50 + 21 m), che appare la soluzione più armoniosa grazie ai vincoli meno severi, si opta per un impalcato a trave continua solidale alle pile di sezione ellittica per una maggiore snellezza.

Nel *viadotto dell'Arginvecchio* (luci 21 + 27,50 + 21 m) è necessario, per ridurre i tempi di costruzione della campata sulla rete ferroviaria, modificare la soluzione adottando una serie di travi a canale prefabbricate, mentre quelle di riva, solidali alle pile, ne riprendono la sagoma esterna con una sezione gettata in opera con fori di alleggerimento interni. Di fatto l'ultima soluzione rappresenta la naturale variazione del viadotto sulla Via Italica per effetto delle sopraggiunte limitazioni delle direttive FFS.

La filosofia di base che percorre tutte le opere, come illustrato dallo stesso Bartelletti in una pubblicazione del 1993 sulle memorie delle giornate AICAP, è quella di eliminare quando possibile i giunti trasversali, ritenuti fonte di disturbo al transito dei veicoli e di innesco del deterioramento del manufatto, insieme alla conformazione delle sezioni, possibilmente chiuse e smussate o arrotondate esternamente (pile circolari o ellittiche), al contempo gradevoli esteticamente e poco aggredibili dagli agenti esterni.

Si osserva come la continuità delle superfici sia accuratamente ricercata anche là dove la continuità strutturale in senso stretto viene meno. Tra le travi appoggiate del Rondinella e sulla sedia Gerber dell'Arginvecchio la soletta è comunque continua, grazie allo stratagemma di isolarla dalla testa delle travi per una lunghezza sufficiente a garantire, senza rottura o fessurazione, una capacità di rotazione pari a quella indotta, tra i sottostanti fronti contrapposti, dai carichi mobili e permanenti portati. Ove possibile, la scelta di solidarizzare impalcato e pile, oltre a generare quella iperstaticità già tanto cara a Bartelletti e oggi apprezzata come condizione potenzialmente predisponente alla duttilità, risolve anche il problema della discontinuità e della manutenzione degli appoggi, che restano utilizzati, parimenti ai giunti, solo sulle spalle. L'esperienza dell'impiego di travi prefabbricate in CAP, già maturata sul ponte alle Bocchette, si ritrova nel ponte Quartieri sul Magra dei primi del 1990 ([Tavola dei Ponti](#)) tra i comuni di Terrarossa e Barbarasco e, qualche anno dopo, più a monte sullo stesso fiume, nel ponte di Santa Giustina. Si tratta di due ponti in cui travi prefabbricate a fili aderenti con sezione a canale sono solidarizzate sugli appoggi in modo da realizzare lo schema statico a trave continua di più campate per i carichi permanenti portati e mobili (9 per il ponte Quartieri e 3 per il ponte di Santa Giustina).

È passato il fatidico 1982 (anno in cui fu emanato il D.M. 19/03/1982 con aggiornamento zone sismiche) ed è l'esordio dei primi ritegni antisismici, sia trasversali – montati su mensole laterali, appendici sommi-

tali delle pile spicchanti dai pulvini – sia longitudinali. Questi ultimi sono elastici, in gomma e a doppio effetto, montati su una delle due spalle adeguatamente dimensionata sia in elevato sia nelle fondazioni per assorbire l'azione d'inerzia dell'intero impalcato, mitigata dal periodo proprio ampliato tipico del vincolo molto elastico. L'esperienza continuerà anche in futuro, ad esempio nel viadotto di raddoppio della strada di grande comunicazione FI-PI-LI presso l'Aeroporto di Pisa Galileo Galilei ([Tavola dei Ponti](#)), ma, come si vedrà, non farà parte dello sviluppo prevalente dell'impegno di Bartelletti.

Collateralmente, infatti, si aprono nuove strade. Tra queste una è quella dei ponti mobili, progettati e realizzati in collaborazione con Massimo Viviani, levatoi come la passerella pedonale sul canale Burlamacca a Viareggio, o girevoli come il ponte nel porto Mediceo di Livorno ([Tavola dei Ponti](#)), quella di interventi manutentivi di un certo impegno, come la sostituzione degli appoggi del Ponte sull'Arno a San Giovanni alla Vena o il rinforzo con precompressione esterna del viadotto Europa sulla ferrovia a Lucca, o quella dei ponti in struttura mista acciaio-calcestruzzo. Fra i numerosi manufatti ricordiamo il Ponte di Pescarella sul torrente Versilia a Querceta ([Tavola dei Ponti](#)) in cui, per fare equilibrio alla cospicua eccentricità del carico per effetto dell'accentuata curvatura, i traversi dell'unica campata della luce curva teorica di 45 m si protendono marcatamente in appoggio verso l'esterno del cassone aperto e diaframmato inferiormente. Non è la produzione massiva e ripetitiva a prevalere, ma la ricerca di una soluzione calibrata per ogni condizione specifica.

Non è un caso che molte commesse giungessero allo studio di Bartelletti o per l'aggiudicazione di appalti-concorsi, modalità di appalto pubblico in gran parte prevalente fino agli anni '90, o per affinamenti di soluzioni progettuali standard di altri ingegneri. Molto spesso erano le imprese che richiedevano soluzioni vantaggiose non tanto perché meno costose, ma soprattutto perché più meditate e idonee a soddisfare requisiti specifici. Erano in definitiva la novità e la ricerca, non quella squisitamente teorica curata per altri versi presso l'allora Istituto di Scienza delle Costruzioni dell'Università di Pisa (di cui è stato Direttore dal 1983 al 1996), ma quella più pratica di sperimentazione di soluzioni tecniche sempre nuove, tesa allo sviluppo di una padronanza progettuale eclettica e ricca di possibilità alternative, fondamentale in un processo di ottimizzazione.

E che la pura economia non fosse l'unico motivo per ricorrere a Bartelletti le imprese lo sapevano bene, richiamate più dalla capacità di calibrare le soluzioni in relazione alle idee e ai desiderata estetici. Allo stesso modo, si spiegavano le collaborazioni con gli architetti, che spesso lo includevano nelle associazioni temporanee finalizzate alla partecipazione ai bandi di gara.

Del resto, l'economia disgiunta dall'idea era da Bar-

telletti considerata povera di spirito. Non era disposto a lesinare su qualità e quantità dei materiali, né a semplificazioni eccessive – sebbene fosse anche contrario alle soluzioni di complicata realizzazione – tanto era consapevole delle approssimazioni tra il dire e il fare, tra il progetto e la sua esecuzione pratica, che facilmente rosicchiano i margini di sicurezza, difficilmente li accrescono: *“Ripresa fresco su fresco? Poi arriva l'ora di pranzo e l'operaio lascia tutto lì...”*. Aveva innato il senso della durabilità e robustezza, all'epoca in cui quest'ultimo non era contemplato da norme e letteratura come lo è oggi. Tuttavia, non amava gli eccessi. Divertenti in proposito, gli epiteti da lui metaforicamente conati dell'“*Ingegnere elefante*” e dell'“*Ingegnere formica*”, due figure - con due stili o, piuttosto, due manie contrapposte di deformare la misura verso l'abbondanza o la parsimonia eccessive - che si facevano ben riconoscere dalle loro opere.

Gran parte dell'attività del suo Studio è infine caratterizzata da un'azione molto sostanziale, non sempre d'immagine. Non era infrequente che si gestissero commesse formalmente affidate ad altri tecnici che portavano progetti in bozza a diventare, con semplici affinamenti o variazioni sostanziali, soluzioni esecutive e cantierabili. Sicché la consulenza, la revisione, la rettifica, il controllo, l'alta vigilanza, la variante migliorativa, tutte le operazioni tese a controllare, verificare, affinare e risolvere costituiscono un apporto talmente massivo e sostanziale alla commessa, da ridimensionare e talvolta svuotare il ruolo dei titolari degli incarichi considerati ingegneristicamente più “nobili” come la Progettazione o Direzione dei Lavori. Proprio per questa vocazione, tesa alla sperimentazione di soluzioni nuove e al contempo fortemente radicata nel lavoro quotidiano in parte oscuro, si sviluppano le condizioni per avventurarsi verso esperienze nuove con una sostanziale sicurezza di approccio. Sebbene il salto nell'adozione di nuove tecnologie potesse talvolta risultare significativo, non lo sarebbe stato quello delle certezze teoriche né quello dell'approccio pragmatico esercitato costantemente sul campo. “Sapere” e “saper fare” che Bartelletti curava di sviluppare sostanzialmente in egual misura.

Proprio su tanta notevole attività basale - oscura alle platee, ma non agli addetti ai lavori - si fondano, e a suo dispetto spiccano, alcune collaborazioni di rilievo come quelle relative agli studi preliminari del Ponte sullo stretto di Messina o sul Ponte Est di attraversamento dello Storebælt danese, di cui qui si dà un breve cenno.

Nel 1986 Bartelletti partecipa ai lavori per la redazione del progetto di massima di un ponte sospeso di luce centrale pari a 3300 m sullo Stretto di Messina, all'interno della commissione dei “Consulenti sul Progetto di Massima” istituita dalla Società Stretto di Messina, società pubblica partecipata da ANAS, Ferrovie dello Stato, Regione Siciliana e Regione Calabria. Il Rapporto di Fattibilità, la relazione ufficiale prodotta nel 1986 dalla Società Stretto di Messina e

integrata da numerosi documenti di dettaglio, nonché dal parere della Consulta Estera di Quality Assurance, contiene le valutazioni di esperti stranieri di diverse discipline in ordine agli studi compiuti dalla Società ed espone tre soluzioni di attraversamento: la soluzione aerea, quella con galleria subalvea e con galleria alvea o flottante. La soluzione aerea riscuote le preferenze di ANAS e Ferrovie dello Stato. Raccolti i pareri sul Rapporto di Fattibilità, la Società Stretto di Messina costituisce dunque un gruppo di progettazione formato dal dottor Brown e dai professori Brancaleoni, D'Asdia, Diana, Falco, Finzi, Nova, Castellani, Jamiolkowski, Sampaolesi, Caramelli e Bartelletti, affiancati dai relativi studi professionali e/o società di riferimento e da moltissimi altri specialisti, per la redazione del progetto di massima. Al termine di tale attività, la Delegazione di Alta Sorveglianza di ANAS esprime il suo parere favorevole, così come pure la Delegazione di Alta Sorveglianza di F.S. Il progetto di massima, presentato il 30 aprile 1997 al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, riscuote parere favorevole all'unanimità il 10 Ottobre 1997.

Nel 1990, Bartelletti partecipa anche alla gara internazionale per la costruzione del ponte Est per l'attraversamento dello Storebælt in Danimarca (Figura 3), nell'ambito del gruppo di progettazione costituito da Brancaleoni, Caramelli, Diana e Sanpaolesi, che si presenta in qualità di consulente per la società CMF SUD, risultata vincitrice in associazione con la Steinmann-Parson per le sovrastrutture in acciaio del ponte, con una progettazione in variante.

Le principali varianti al progetto di gara riguardano la sezione trasversale dell'impalcato sospeso (1624 m di luce, 64 m di altezza sul livello del mare in corrispondenza della sezione di mezzeria), con l'introduzione di diaframmi reticolari al posto delle piastre previste dalla documentazione di gara, e la rimozione dei vincoli torsionali in corrispondenza delle torri. Il gruppo di progettazione propone anche alcune modifiche alla sezione trasversale per migliorarne l'efficienza aerodinamica e l'aumento della luce dei viadotti di accesso alla campata principale, dai 168 m previsti dal progetto a 193 m.

Ma il punto più alto dell'ingegneria dei ponti di Bartelletti è sicuramente il ponte sull'Arno a servizio della tranvia Santa Maria Novella-Scandicci, a Firenze, dove la sfida della leggerezza raggiunge il massimo livello (Figura 4, 5, 6 e 7). Il progetto del ponte risulta vincitore del concorso nazionale bandito nel 1998 dal Comune di Firenze. Il profilo della linea tranviaria era assegnato e rigidamente vincolato dalle pendenze massime ammissibili e dai raggi minimi dei raccordi verticali. La luce libera del ponte, richiesto a campata unica, non doveva essere inferiore a 108.75 m, il tirante d'aria non inferiore a 1 m sopra il livello di massima piena e il livello delle spalle era stabilito. In questa situazione, l'altezza disponibile risultava definita in 2.70 m in mezzeria e 2 m all'appoggio. Tali condizioni, insieme al problema paesaggistico relativo alla vista



Figura 3. L'attraversamento dello Storebælt in Danimarca.

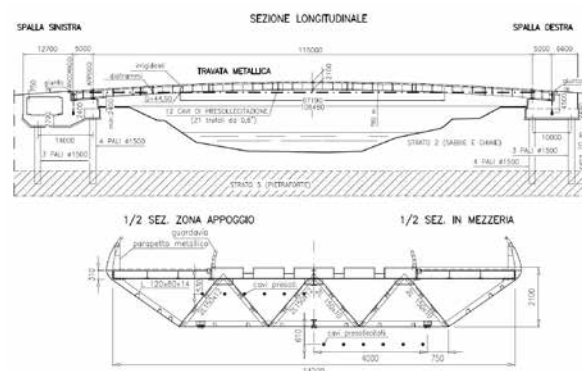


Figura 4. Il primo progetto del ponte sull'Arno a Firenze risultato vincitore del concorso nazionale del 1998.



Figura 5. Il secondo progetto del ponte sull'Arno a Firenze, come realizzato. Vista fotorealistica da valle.

da valle della città fanno prediligere la soluzione a via inferiore, per quanto con dimensioni disponibili proibitive. D'altra parte, la richiesta del bando di utilizzare materiali ad alte prestazioni fa ricadere la scelta sull'uso dell'acciaio COR-TEN, per poter restare nel campo dei materiali tradizionali (Figura 4).

Per limitare il peso della carpenteria metallica, ottenere una sensibile contro-freccia che consenta la riduzione di quella di costruzione annullando gli effetti dei carichi permanenti, nonché rendere più facili e affidabili le giunzioni in zona tesa, il progetto prevede la presollecitazione della sezione metallica. Ciò è pensato possibile attraverso cavi rettilinei che corrono dentro la sezione, collegati al centro della campata per evitare perdite di presollecitazione per gli effetti del second'ordine. Inoltre, per risolvere l'ulteriore problema dell'eccessiva deformabilità sotto i carichi mobili, si adotta una soluzione costruttiva che realizzi un incastro elastico in corrispondenza delle spalle, ottenuto prolungando la travata alle due estremità e inserendo bielle verticali in barre tonde di acciaio per bilanciare il momento all'appoggio. L'efficacia dell'incastro è prevista solo in presenza degli incrementi di

sollecitazione dovuti ai carichi variabili, assicurando comunque uno schema praticamente isostatico in presenza dei soli carichi permanenti.

Il progetto, vincitore del concorso e accettato dalla Soprintendenza, non trova però, per mutate valutazioni dei parametri idraulici, il consenso del Provveditorato alle Opere Pubbliche, che, inaspettatamente, richiede il rispetto di vincoli ben più stringenti. In conseguenza di ciò, l'altezza disponibile per l'impalcato subisce una drastica riduzione agli appoggi (da 2 m a 0.45 m) e una leggera riduzione in chiave. Inoltre, la modifica del tracciato della tranvia che comporta un'obliquità di 6 gradi dell'attraversamento, introduce sul ponte un tratto in curva del binario tranviario. Risultando impossibile mantenere la soluzione a campata unica, ancor più a causa dell'aumentata distanza tra i paramenti esterni delle spalle, ormai di 124 m, il secondo progetto presenta simmetricamente due pile in alveo, soluzione peraltro in linea con la tipologia prevalente dei ponti urbani fiorentini (Figura 5). Per mantenere le caratteristiche di leggerezza e minima invasività dell'opera, le pile hanno dimensioni planimetriche ridotte al limite e un profilo snello, ottimizzato per la penetrazione idrodinamica. Il loro notevole arretramento dai fronti contribuisce all'effetto di slancio e continuità dell'impalcato tra le spalle, accentuato dalla forma dei profili di estradosso e intradosso, che sono realizzati con archi di cerchio di raggi e centri diversi per seguire esigenze statiche e funzionali. La presenza dei binari della tranvia in curva richiede anche un leggero allargamento dell'impalcato.

In definitiva, il ponte viene realizzato secondo il progetto terminato nel 2005, con luce complessiva di 126 m e schema a travata continua a tre campate. L'opera, destinata al passaggio di due binari tranviari, è in grado di sostenere, in caso di emergenza, anche il traffico stradale di seconda categoria. La carreggiata comprende infine due piste ciclo-pedonali della larghezza di 3.3 m ciascuna. L'altezza della sezione è ridotta a valori esigui: 1.90 m in mezzeria e 0,45 m in corrispondenza delle spalle. Il bassissimo spessore delle campate di riva è parzialmente compensato dall'allargamento della sezione, soluzione che consente di ospitare il tratto in curva dei binari della tramvia lato Parco delle Cascine. La sezione trasversale del ponte è un cassone monocellulare nella campata centrale, mentre nelle campate di riva, di spessore troppo esiguo per attivare il funzionamento torsio-rigido, è costituita da travi indipendenti. Un traverso scatolare consente la corretta transizione delle sollecitazioni fra le due tipologie di impalcato. Le due pile in alveo a sezione ellittica sono fondate in riva sinistra direttamente sul substrato roccioso e in riva destra su pali di piccolo e medio diametro. Il risultato finale è una struttura di straordinaria leggerezza, perfettamente inserita nel contesto urbano: Bartelletti, accogliendo la sfida imposta dai vincoli progettuali, ha dato vita ad una struttura estremamente leggera che riesce ad evitare gli ingombri visivi

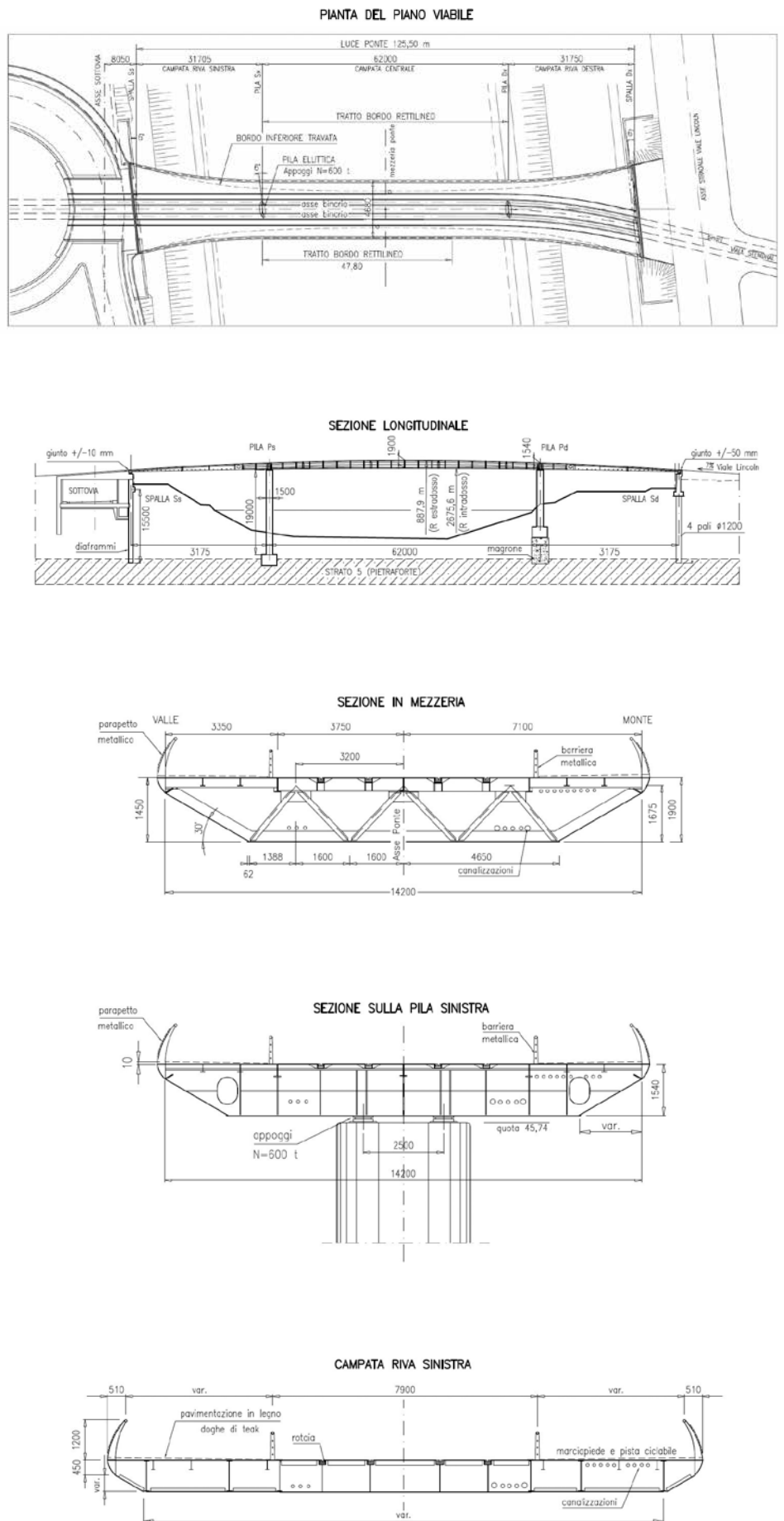


Figura 6. Il secondo progetto del ponte sull'Arno a Firenze, come realizzato.



Figura 7. Il ponte sull'Arno a Firenze oggi.

inevitabilmente presenti in altre possibili soluzioni. Il ricorso alla precompressione esterna caratterizza anche gli interventi di rinforzo strutturale progettati da Bartelletti, come pure l'impiego parsimonioso dei giunti strutturali nei progetti di ponti di nuova costruzione: egli era infatti convinto che le strutture di cemento armato e muratura esplicassero al meglio le loro caratteristiche di funzionalità e resistenza se impiegate in un *unicum* armonioso e strutturalmente coeso. D'altro canto, l'utilizzo della precompressione in fase di progettazione consente di sperimentare soluzioni di grande leggerezza ed efficacia statica, come nel primo progetto per il Ponte sull'Arno della tranvia. Sulla scia di quest'opera si pongono senza dubbio le soluzioni stilistiche successive, come la passerella ciclopedonale a Compiobbi e il ponte a Montelupo, entrambi progettati in attraversamento al fiume Arno con arco metallico a via inferiore (*Tavola dei Ponti*). La passerella è sorretta da un arco di luce 118,82 m, freccia di 20 m, composto da due tubolari paralleli del diametro di 560 mm, tra loro collegati da traversi irrigidenti disposti a passo di 9,14 m, come i pendini. L'impalcato, della larghezza complessiva 4,30 m, è costituito da una soletta alleggerita gettata su lamiera grecata e ordita sulla direzione longitudinale, poggiate su due cassoncini laterali su cui si innestano i pendini. Nel Ponte di Montelupo (*Tavola dei Ponti*), vincitore di concorso di progettazione bandito dalla Provincia di Firenze, le strutture degli archi convergono in chiave fino a compenetrarsi, dando forma a una singolare sezione cava. La luce dell'arco è di 150 m, la freccia di 25 m. Il cassone metallico, di appena 2 m di altezza, nel paesaggio appare quasi una linea priva di spessore. Grande leggerezza quindi, ma non fine a se stessa. Come spiega Bartelletti, le soluzioni ad arco

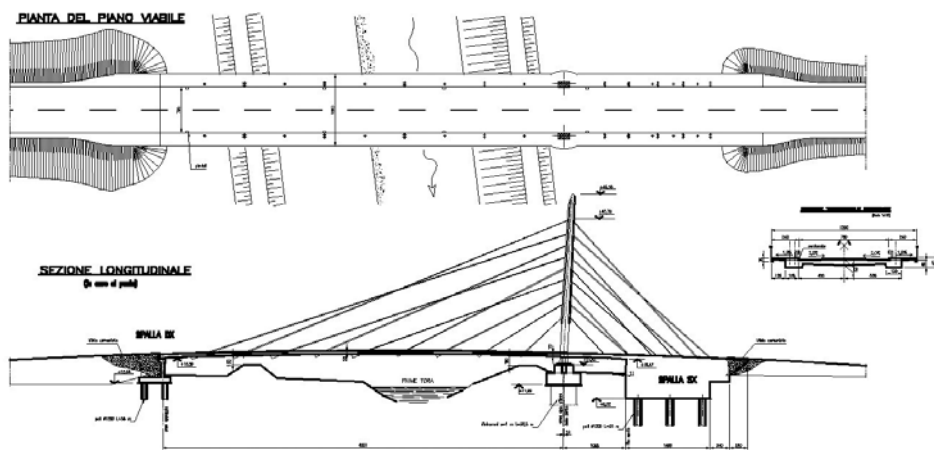


Figura 8. Progetto del ponte sul Tora, in provincia di Livorno.

a via inferiore sono dettate dai luoghi e dalla necessità di garantire il minimo franco idraulico, mentre l'imposta del sistema, non a terra ma sull'impalcato stesso, conferisce a quest'ultimo la necessaria funzione di catena. D'altra parte, la struttura ad arco fa parte di un ponte più lungo, costituito anche da altre 3 campate di luce 50 m in semplice appoggio, aventi le stesse dimensioni trasversali dell'impalcato, ma realizzato come via superiore rispetto alle pile. Bartelletti non ha potuto vedere realizzata l'opera, che lui ha progettato fino al livello di progetto preliminare e che, su progetto successivamente rimaneggiato da altri tecnici, è attualmente in fase di esecuzione. Resta non realizzato anche il progetto esecutivo di un ponte strallato sul Tora (*Figura 8*), commissionato dalla Provincia di Livorno, con impalcato di calcestruzzo a sezione rettangolare piena molto ribassata, con gli stralli che sostengono l'impalcato incrociati per limitare le deformazioni.

GRANDI STRUTTURE EDILIZIE E OPERE GEOTECNICHE

Al termine degli anni '80, l'attività di Bartelletti si espande verso le strutture di grandi complessi edilizi d'uso pubblico, come gli edifici per la ricerca e la salute: Numerose sono le nuove strutture ospedaliere e le infrastrutture per la ricerca progettate o realizzate sotto la sua direzione, così come pure le ristrutturazioni e i casi di miglioramento e adeguamento sismico delle strutture esistenti. Anche gli interventi geotecnici di stabilizzazione di infrastrutture e terreni compaiono frequentemente tra le opere progettate allo Studio.

Per mettere in luce la varietà e il valore delle opere realizzate, vengono qui presentate alcune tra le più rilevanti, selezionate dagli autori in quanto particolarmente interessanti sotto il profilo tecnico o emblematiche della filosofia progettuale dello Studio. Pur condividendo una concezione strutturale comune, le strutture ospedaliere e quelle dedicate alla didattica, alla ricerca e al trasferimento tecnologico affrontano sfide specifiche, legate soprattutto agli impianti e alle prestazioni richieste. Questa specificità giustifica la suddivisione delle opere per tipologie, secondo cui vengono descritte.

Strutture ospedaliere

Bartelletti aveva maturato una grandissima esperienza nella progettazione e realizzazione di strutture ospedaliere. Il suo contributo spazia dall'Ospedale della Versilia al nuovo ospedale di Matera, dall'Ospedale Campo di Marte a Lucca (ampliamento del padiglione 2), all'Ospedale Pediatrico di Massa, all'adeguamento degli ospedali di Barga e Castelnuovo di Garfagnana, a seguito dell'evento sismico che colpì la regione nel 1985. Questi lavori hanno impegnato il suo Studio soprattutto fra gli anni '90

e i primi anni 2000. Più recentemente, Bartelletti si è occupato della progettazione delle strutture del nuovo Pronto Soccorso dell'Ospedale di Cisanello a Pisa, dell'ampliamento della Clinica di San Rossore, sempre a Pisa, del progetto del nuovo Ospedale Pediatrico della Fondazione "Stella Maris", di prossima realizzazione.

Nell'ambito dell'edilizia ospedaliera, la sfida del progettista strutturale consiste nell'armonizzare i requisiti strutturali con quelli funzionali ed impiantistici, che sono generalmente significativi anche dal punto di vista economico. Requisiti stringenti sono posti sulla sicurezza antincendio e sulla ispezionabilità e manutenibilità degli impianti, che devono essere garantite senza interruzione dell'attività. Questi vincoli progettuali sono generalmente soddisfatti scegliendo maglie strutturali regolari, con dimensioni dei pilastri il più possibile contenute e travi in spessore di solaio, in modo da non intralciare il passaggio degli impianti. La maglia di (7,20x7,20) m con orizzontamenti orditi a scacchiera viene citata da Bartelletti e Carrara (1999) come ottimo compromesso fra le esigenze funzionali di minimo ingombro ed il costo di costruzione. Questa soluzione è spesso adottata da Bartelletti, ad esempio per la costruzione di alcuni blocchi dell'Ospedale di Matera, del Pronto Soccorso di Cisanello e si ritrova nell'Ospedale della Versilia. Per far fronte alle sollecitazioni sismiche, le ridotte dimensioni delle strutture portanti in elevazione impongono l'utilizzo di sistemi di pareti di taglio, posti generalmente in corrispondenza dei collegamenti verticali (vani scala, cavedi, etc.) o, nelle strutture più moderne, il ricorso ad isolatori sismici.

Le strutture ospedaliere progettate da Bartelletti sono prevalentemente realizzate in cemento armato gettato in opera, soluzione preponderante nelle strutture ospedaliere italiane, con l'impiego di soluzioni prefabbricate per il getto degli orizzontamenti. Anche in questa tipologia, la progettazione di Bartelletti si contraddistingue per l'uso parsimonioso dei giunti strutturali di dilatazione, realizzati nel numero minimo indispensabile sia per evitare antiestetici e costosi sdoppiamenti delle strutture, sia per migliorare il funzionamento scatolare degli edifici. Considerazioni sulla deformabilità del terreno, sulla effettiva diffusione delle variazioni termiche e sulla risposta del c.a. fessurato sono frequentemente chiamate in causa nella modellazione, in modo da contenere entro valori ragionevoli gli effetti degli stati coattivi a vantaggio della monoliticità e della stretta connessione tra gli elementi e, in definitiva, della capacità ridistributiva e della duttilità d'impianto. Espedienti, questi, la cui ragionevolezza e validità trovano conferma nella funzionalità di quanto realizzato.

Nei primi anni del 2000, Bartelletti ha svolto il ruolo di consulente e direttore dei lavori delle strutture per la costruzione dell'Ospedale della Versilia (Figura 9, 10, 11) e, in tale veste, ha dovuto affrontare le non semplici problematiche realizzative. L'ospedale,

inaugurato nel 2002, si sviluppa su un'area rettangolare di 315 m per 85, per un'altezza complessiva fuori terra di 17,40 m. Perfettamente integrato nella pineta circostante, l'edificio è composto da tre livelli parzialmente interrati in cemento armato, che ospitano il parcheggio e le unità funzionali, sovrastati da 3 livelli in struttura metallica per le degenze e i servizi comunitari.



Figura 9. Ospedale della Versilia (LU) - Viste dall'alto.

La realizzazione del volume interrato, di amplissime dimensioni, ha richiesto l'esecuzione di opere strutturali di grande rilevanza, in presenza di una falda freatica a quota elevata e di terreno sabbioso, a circa un chilometro dalla costa. Lo scavo è stato eseguito previo abbassamento della falda mediante sistema *wellpoint*, stabilizzando le pareti dello scavo con l'infissione di una palancolata provvisoria tipo "Larssen", spinta fino a 16 m di profondità dal piano di campagna e ancorata con tiranti inclinati di 26 m e bulbo di 6 m di lunghezza. Nelle parti centrali del complesso, in cui la quota del pavimento è a 4,8 m sotto il piano di campagna, la sotto-spinta idraulica della falda è compensata sagomando opportunamente la platea di fondo con spessori variabili di calcestruzzo in relazione all'entità del carico sovrastante, mentre nelle porzioni di edificio in cui la quota del pavimento si spinge fino a -6.65 m e sovrastate da un solo piano fuori terra (Figura 10) è stato previsto l'ancoraggio della platea di fondazione mediante tiranti permanenti realizzati con barre Dywidag $\Phi 20$, dimensionate per sopportare interamente lo sforzo di trazione di progetto, inserite in un tubo metallico iniettato con cemento. Il tirante così realizzato, di lunghezza pari a circa 17,5 m, è stato ancorato per 400 cm in bulbi di jet-grouting del diametro nominale di 120 cm.

Un'altra interessante soluzione progettuale è quella studiata da Bartelletti per l'ampliamento del Padi-

zialmente le stesse affrontate negli altri casi, se si prescinde dall'azione sismica non prevista a quel tempo per la zona. Le unità strutturali che compongono l'aggregato sono prevalentemente in c.a., ma i tre blocchi principali, che si sviluppano fino a 6 livelli, presentano ai piani superiori una struttura metallica a testimoniare la ricerca di ogni espediente teso ad apportare funzionalità e leggerezza. L'acciaio è predominante anche nei collegamenti a ponte tra i vari blocchi, realizzati attraverso passerelle ancorate a uno dei blocchi e poggiate sull'altro. Tiranti metallici diagonali non solo compaiono nelle passerelle, ma sostengono anche le cuspidi dei bordi dentellati dei blocchi principali. Il tutto sapientemente scandito attraverso giunti tecnici misurati e mai esuberanti (lunghezze fino a 90 m), perché Bartelletti, come detto, non condivideva l'eccesso di timore nei confronti degli stati coattivi ed i conseguenti "spezzatini strutturali".

Un edificio di concezione innovativa è stato progettato per il nuovo Pronto Soccorso di Cisanello, costruito fra il 2006 e il 2010, per inglobare in un unico complesso le unità specialistiche collegate alla gestione dell'emergenza con le relative sale operatorie e apparecchiature per la diagnostica. Con dimensioni in pianta di 86 m x 70 m circa e sviluppo in altezza di quattro piani, di cui tre fuori terra, il pronto soccorso ospita in copertura un'elisuperficie, sopraelevata rispetto al resto dell'edificio e di notevole estensione, 36 m x 32 m (Figura 14). La struttura dell'edificio è realizzata mediante un telaio spaziale di cemento armato gettato in opera, con maglia regolare di 7,20 m x 7,20 m, travi in spessore di solaio e orizzontamenti orditi a scacchiera. Il complesso è dotato di un unico giunto di dilatazione longitudinale, ubicato in corrispondenza delle chiostre interne, ed è irrigidito nei confronti delle azioni orizzontali da cinque strutture scatolari in c.a. gettato in opera, che ospitano i vani scala e i cavedi per la distribuzione verticale degli impianti.

Dal punto di vista funzionale, il progetto richiedeva massima flessibilità nella disposizione dei macchinari a piano terra (in corrispondenza della radiologia) e al piano interrato. Per questi ambienti è stata dunque realizzata una soletta piena al piano terra, mentre sulla platea nervata di fondazione è stato previsto un vespaio areato che, oltre ad alleggerire le strutture fondali, consente una notevole flessibilità nei locali impianti e nel reparto neuroradiologia, laddove opportuni basamenti supportano i macchinari più pesanti.

La struttura portante dell'elisuperficie, inaugurata nel 2013, è progettata per consentire l'atterraggio dei veicoli più pesanti in uso in campo nazionale, con un graticcio spaziale di travi e pilastri di cemento armato gettato in opera, a supporto dell'impalcato realizzato con soletta piena di 25 cm di spessore. La struttura è solidale con il vano scala che dai piani sottostanti raggiunge l'intradosso della soletta, in modo da con-



Figura 14. Il nuovo Pronto Soccorso di Cisanello (PI) prima dell'inizio dei lavori di costruzione del Nuovo Santa Chiara.

ferire al complesso la rigidità necessaria a limitare le vibrazioni strutturali durante l'atterraggio ed il decollo degli elicotteri.

Negli ultimi due anni della sua attività Bartelletti si è occupato del progetto delle strutture del Nuovo Ospedale "Stella Maris", nelle fasi del Progetto Definitivo ed Esecutivo. Oggi il nuovo complesso ospedaliero, che sorgerà non lontano dalle strutture dell'Ospedale di Cisanello, è in fase di inizio lavori. In Figura 15 è mostrata la pianta dell'edificio principale, conformata a forma di "tau" e studiata per assicurare collegamenti a breve distanza fra tutte le aree funzionali, rendendo la struttura accogliente e poco dispersiva. L'edificio si sviluppa in elevato per 4 piani fuori terra di circa 2600 mq ciascuno, oltre al piano interrato. Ciascun braccio dell'edificio si estende per 50 m dal centro del tau con larghezza massima di 20 m. La struttura dei piani in elevato è costituita da 3 poderosi nuclei verticali in cemento armato e da 77 pilastri tubolari in acciaio (diametro 40-30 cm) che sostengono gli impalcati, realizzati con un reticolo di travi in acciaio HE in spessore di solaio. I solai di impalcato sono realizzati mediante un reticolo di travetti ortogonali in c.a. gettato in opera con funzionamento a piastra, alleggerito mediante elementi rettangolari vuoti in plastica ed inerti di argilla espansa. Le azioni sismiche, mitigate dalla soluzione tecnologica impiegata per realizzare l'impalcato, sono assorbite dai vani scala ubicati - in posizione staticamente ottimali - nella zona centrale di ciascun braccio.

La struttura del piano interrato è costituita da una platea di base nervata da un grigliato di pareti a tutta altezza, a realizzare un elemento scatolare estremamente rigido, in grado di assorbire le forti sollecitazioni alla base dei setti e di distribuirle uniformemente sul terreno. La sostituzione del terreno scavato con la struttura di fondazione scatolare più leggera consente inoltre di ottenere la quasi completa compensazione dei carichi permanenti della sovrastruttura, mitigando l'entità dei cedimenti. Le strutture di progetto sono completate dallo scalone metallico centrale a spirale ellittica e dalle membrature metalliche di sostegno delle "vele" frangisole esterne lungo il perimetro dell'edificio (Figura 15).

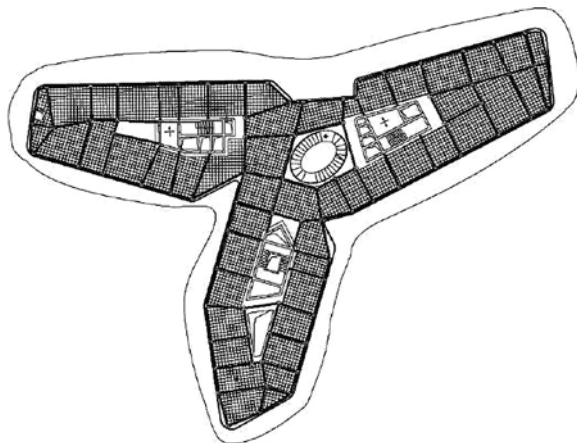


Figura 15. Rendering dell'edificio che ospiterà il nuovo Ospedale della Fondazione Stella Maris a Pisa e pianta del piano primo.

Infrastrutture per la ricerca

Fra i più rilevanti interventi in questo ambito, si ricorda il Polo Fibonacci a Pisa, ubicato all'interno dell'area industriale dismessa "Ex-Marzotto" e attualmente sede della facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali dell'Università di Pisa (Figura 16 e 17), risalente agli anni '90 del 900. Il recupero del complesso di edifici della fabbrica tessile ha previsto la demolizione e la ricostruzione del blocco centrale, mentre gli altri edifici, l'ex opificio prospiciente la via Buonarroti e la vecchia centrale termica, sono stati sottoposti a una radicale ristrutturazione.

Sempre negli anni 90 viene progettato e realizzato il complesso del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa. L'Area della Ricerca di Pisa (Figura 18), la più grande in Italia, è stata inaugurata nel 2000 dall'allora Presidente della Repubblica Carlo Azeglio Ciampi. L'Area, interamente di nuova costruzione, si estende su 123000 mq di superficie ed ospita tredici istituti del CNR e lo stabilimento ospedaliero della Fondazione G. Monasterio.

Il progetto è risultato vincitore di appalto concorso per il quale Bartelletti ha redatto il progetto esecutivo e costruttivo delle strutture ed ha svolto consulenza in corso d'opera per l'impresa esecutrice.

Più recentemente, Bartelletti si è occupato della realizzazione del Centro di Ricerca e Formazione sull'Innovazione Tecnologica ed il Trasferimento delle Tecnologie nel Comune di Pontedera (PI), in collaborazione con Francesco Tomassi.

Fra le opere che abbiamo elencato, riteniamo di doverci soffermare sulla descrizione del complesso VIRGO, sede dello European Gravitational Observatory (EGO), per la particolarità e complessità della



Figura 16. Polo Fibonacci a Pisa. L'ex Opificio (che oggi ospita il Dipartimento di Fisica) in primo piano. Vecchia centrale termica in alto a sinistra, Nuovo edificio C in secondo piano (oggi Dipartimento di Informatica).

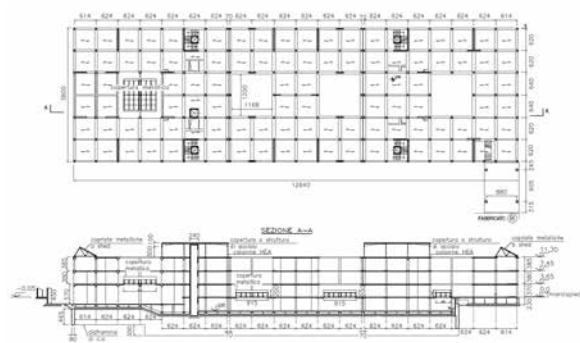


Figura 17. Polo Fibonacci a Pisa. Pianta e sezione dell'edificio C (aule di Informatica).



Figura 18. Area della Ricerca di Pisa - Consiglio Nazionale delle Ricerche.

realizzazione e per l'importanza della ricerca che vi viene svolta. Il progetto, inserito sin dalla fine degli anni '80 nei programmi di attività dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e del Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), prevedeva la realizzazione di un'antenna in grado di rilevare le onde gravitazionali, ovvero perturbazioni di carattere ondulatorio del campo gravitazionale prodotte da masse in moto accelerato, una scoperta scientifica di carattere eccezionale. Si trattava di realizzare un interferometro di Michelson, un apparato dove il segnale di interferenza dipende dalla differenza di lunghezza fra due percorsi rettilinei ortogonali, lungo i quali si propagano due fasci luminosi. L'eventuale

onda gravitazionale, deformando lo spazio, avrebbe prodotto oscillazioni di tale segnale di interferenza, consentendone la rilevazione. La sfida era dunque quella di costruire due percorsi della massima lunghezza realizzabile, mantenendo le componenti ottiche e del cammino dei fasci luminosi in condizioni di "vuoto ultra-alto". Inoltre, il regolare funzionamento delle complesse e delicate apparecchiature richiedeva alle strutture edilizie che le ospitano precisione di esecuzione e comportamenti prestazionali del tutto eccezionali riguardo agli allineamenti planimetrici ed altimetrici. La frequenza fondamentale del sistema strutture-fondazione doveva essere superiore a 7 Hz, per evitare, con ampio margine, l'insorgenza di interferenze fra gli edifici e i macchinari progettati per rilevazioni a bassa frequenza.

Il complesso VIRGO è costituito da due tubi orizzontali rettilinei (bracci) di 1,20 m di diametro e di 3000 m di lunghezza, disposti perpendicolarmente l'uno all'altro, alla cui congiunzione si trovano sette torri cilindriche verticali di 2 m di diametro e 12 m di altezza, contenenti le delicate strumentazioni ottiche del sistema di rilevazione poste all'interno di un involucro che costituisce l'edificio principale. Torri di simili dimensioni sono ubicate anche alle estremità libere dei due bracci, insieme ad altri edifici di servizio.

La costruzione di VIRGO (Figura 19-20), nella vasta pianura pisana a ridosso della via Emilia, iniziò nel 1997 e si protrasse fino al 2003, anno di inaugurazione del complesso. Bartelletti si occupò del progetto strutturale e della direzione dei lavori dell'edificio principale, della centrale tecnologica e dell'edificio *Mode Cleaner*, collegato all'edificio principale da un tunnel di 105 m di lunghezza. Si riportano in Figura 20 alcuni dettagli delle strutture dell'edificio principale, all'incrocio dei due bracci ortogonali. Esso è costituito da un volume principale con superficie coperta di circa 1100 mq, di altezza totale pari circa 20 m, e da quattro volumi destinati ad impianti tecnologici e a gallerie di innesto dei bracci. I primi 4 m del volume principale ed i quattro volumi accessori sono interrati in un rilevato artificiale, la cui quota superiore corrisponde al piano di ingresso dell'edificio. Il volume interno della struttura, in gran parte occupato dalle torri cilindriche contenenti la strumentazione ottica di rilevamento, presenta limitati orizzontamenti intermedi. Al piano interrato e al piano di ingresso si trovano numerosi vani per impianti tecnologici. Al primo piano si trovano i locali destinati agli uffici. Dal punto di vista strutturale, la porzione di edificio artificialmente interrata è realizzata in cemento armato e fondata su pali di grande diametro (1200 mm, con carico massimo di servizio di 390 t) che si attestano sul banco di sabbie e ghiaie presente in profondità. Sulla struttura basamentale si innesta l'edificio in elevazione, realizzato con portali metallici reticolari. Le rilevazioni scientifiche cominciarono nel 2007 e la strumentazione, ulteriormente potenziata nel 2017, fa oggi parte della rete mondiale di rilevatori che ha



Figura 19. Complesso VIRGO (PI). Edifici in costruzione.

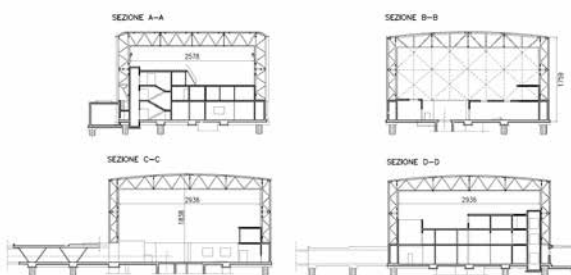
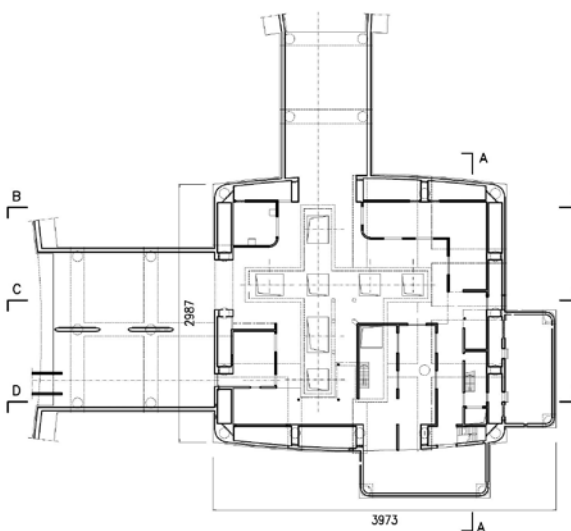


Figura 20. Complesso VIRGO (PI). Edificio principale: pianta, sezioni e vista dall'alto.

consentito la misura di un centinaio di onde gravitazionali, di cui la prima rilevata nel 2015 in seguito alla collisione di due buchi neri.

Tra le tante opere realizzate, figurano anche la progettazione e/o direzione dei lavori strutturali di molte strutture di tipo alberghiero, sportivo, espositivo, logistico. Si ricordano il Nuovo Centro servizi "Eliopoli" a Calambrone (LI), il Centro Marco Polo a Viareggio (LU) e il nuovo centro di riabilitazione della Clinica di San Rossore a Pisa.

Interventi su costruzioni esistenti e opere di tipo geotecnico

Oltre alle nuove costruzioni, è importante menzionare i numerosi interventi di adeguamento e miglioramento sismico sui complessi esistenti. Tra le strutture oggetto di adeguamento/miglioramento sismico si ricordano in particolare quelle ospedaliere di Castelnuovo di Garfagnana e di Barga, il recupero ad uso ricettivo di alcuni complessi fra Tirrenia e Calambrone (la ex-colonia Regina Elena a Calambrone (LI), il complesso della ex-fondazione Ciso a Tirrenia (PI), la ristrutturazione dell'hotel Plaza a Viareggio (LU)), mentre altri esempi sono stati precedentemente citati a proposito di altri complessi edilizi, in parte trasformati con l'introduzione di nuove costruzioni. Nei progetti di interventi sulle costruzioni esistenti, Bartelletti trovava ulteriore occasione per attingere, in modo eclettico, a una vasta gamma di idee, fondendole con la sua solida esperienza. Tutte le tipologie di rinforzo in letteratura sono di fatto sperimentate dal vivo (impiego di catene o tiranti attivi e connessioni puntuali, cuciture armate, sottofondazioni dirette o di micropali, inserimento di nuovi elementi irrigidenti, demolizioni o riduzioni di massa calibrate, ecc.) a cui si aggiungono altre meno consuete, come la soluzione adottata nel palazzo comunale di Piazza al Serchio (LU). In questa struttura in muratura, le pareti sono rinforzate con una sapiente

applicazione di controventi in c.a. ricavati mediante tracce all'interno dei maschi murari (Figura 21). Al fine di incrementare la rigidità degli elementi altrimenti tesi, si fa ricorso alla precompressione in opera. Trefoli annegati all'interno degli elementi diagonali consentono infatti di creare uno stato coattivo di compressione che viene a interessare indirettamente anche i montanti. In tal modo tutte le membrature del controvento contribuiscono alla rigidità complessiva con le sezioni interamente reagenti.

Un interessante esempio di adeguamento antisismico è quello dell'Ospedale di Barga (LU). La Figura 22 mostra il prospetto principale, in cui spiccano i nuovi contrafforti antisismici in c.a. di sapiente foggia graduata in profondità e spessore, cui è connesso, mediante tiranti attivi disposti negli orizzontamenti, l'intero fabbricato originariamente costituito da ben 5 corpi di fabbrica indipendenti.



Figura 22. Ospedale di Barga. Contrafforti antisismici che caratterizzano l'intervento di adeguamento.

Scelta ancora più coraggiosa, perché drastica e impopolare, ma dettata proprio per questo da grande responsabilità etica e professionale, fu quella dell'abbattimento del terzo piano dell'Ospedale di Castelnuovo di Garfagnana, adeguato sismicamente con due soli rimanenti. La grossolanità della struttura

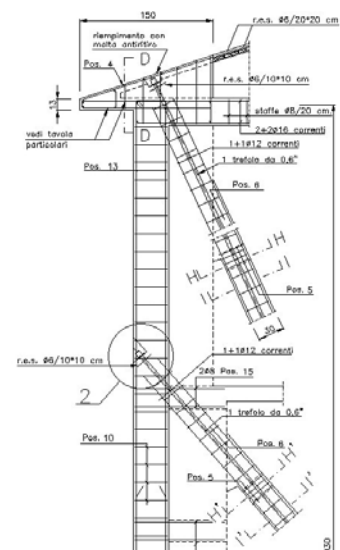
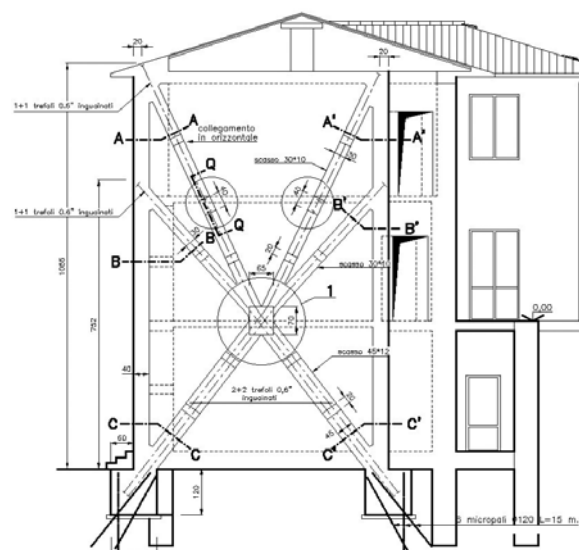


Figura 21a-21b. Municipio di Piazza al Serchio (LU) - Vista d'assieme e particolare di un controvento.

muraria in grossi ciottoli tondi di fiume e la consistenza polverulenta della malta friabile all'azione delle mani nude non lasciavano sperare, nonostante il diffuso fitto e articolato intervento di cuciture armate con iniezioni di resine eseguito sui maschi murari, che il surplus di azione di taglio sismico generata dal terzo livello potesse transitare attraverso di essi.

Un caso emblematico che mette in evidenza la perizia di Bartelletti è l'intervento di ripristino del Ponte di Santa Giustina sul Magra, a Pontremoli (MS), danneggiato gravemente da un'alluvione che nel 2011 aveva causato lo scalzamento della pila destra ed il dissesto dell'impalcato. Il ponte, realizzato nei primi anni '90 del secolo scorso, è costituito da un impalcato a travata continua su 3 campate (luci 29+35+29 m), in pendenza costante del 4%, supportato dalle spalle e dalle due pile in alveo. L'impalcato è costituito da 5 travi affiancate con sezione trasversale a V in c.a.p., rese continue sugli appoggi intermedi mediante i getti integrativi all'interno delle travi, e soletta collaborante di impalcato. Le pile e le spalle di c.a. gettato in opera sono fondate direttamente nello strato alluvionale dell'alveo tramite poderosi blocchi approfonditi a oltre 3 m.

A seguito del danneggiamento, oltre alla deformazione dell'impalcato, che presentava un avvallamento medio sulla pila dissestata di circa 86 cm (75 cm lato monte e 97 cm lato valle) con conseguente torsione, erano evidenti sistematiche fessurazioni delle travi prefabbricate in prossimità del traverso sulla pila destra.

Con grande pragmatismo e conoscenza del problema, fu elaborato un complesso progetto di recupero statico in due fasi che prevedeva la demolizione e ricostruzione della pila danneggiata ed il consolidamento finale dell'impalcato.

In una prima fase dei lavori, relativa alla messa in sicurezza del ponte (2013), furono realizzati due telai provvisori posti a cavallo della pila dissestata e fondati su micropali, che, oltre al sostegno della travata, consentirono la demolizione del traverso (rendendo la campata di riva isostatica), il ripristino della rotazione ed il recupero parziale della livelletta dell'impalcato mediante il sollevamento dei bordi con martinetti, minimizzando così le distorsioni imposte. Nella fase successiva (2018), venne demolita la pila dissestata recuperando parzialmente la sua fondazione, sulla quale è stato impostato il basamento della nuova pila, dotato di 27 micropali attestati sullo strato roccioso e connesso ai plinti di fondazione delle pile provvisorie.

La pila fu ricostruita nella forma e con le dimensioni di quella preesistente e, una volta demoliti i vecchi getti di c.a. all'interno delle travi a V, fu effettuato il getto di c.a. del nuovo traverso e quelli necessari per ripristinare la continuità delle travi. La soletta a cavallo della pila sinistra è stata rinforzata con lamiere placcate all'estradosso.

Con l'ausilio di martinetti e taccate in acciaio poste a

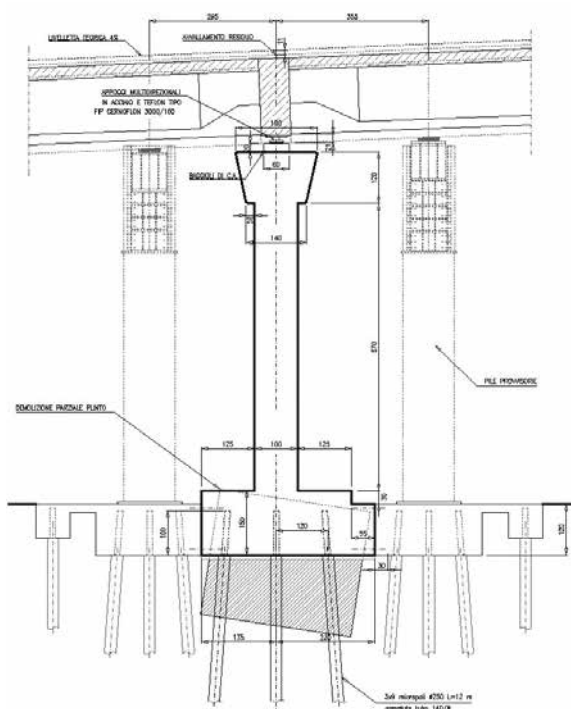


Figura 23. Ponte di Santa Giustina sul Magra (MS). Il dissesto della pila sinistra, i sostegni provvisori idonei a recuperare la deformazione dell'impalcato e il progetto di ricostruzione della pila.

contrasto tra traverzi e pulvini sono state eseguite le operazioni di forzamento necessarie per ripristinare i momenti negativi della travata sulle pile; l'operazione è stata completata con l'inserimento dei nuovi appoggi ed il getto dei baggioli.

L'intervento locale sulla pila e su piccole porzioni d'impalcato, compreso evidentemente quello sulle pile contigue, ha consentito il recupero completo dell'opera evitando la sua demolizione. In **Figura 23** è rappresentato il ponte dissestato, i sostegni provvisori, idonei a recuperare la deformazione dell'impalcato, e la nuova pila con ricostituzione della continuità dell'impalcato.

Tra i casi da citare, non mancano gli interventi di recupero funzionale e consolidamento di edifici sportivi, come quelli dello stadio comunale di Grosseto e dello stadio Artemio Franchi di Firenze. Quest'ultimo sarà riportato più avanti nella sezione riguardante le costruzioni del patrimonio storico artistico.

A proposito dello stadio di Grosseto, negli anni '90 fu effettuata una ristrutturazione generale dell'impianto, sia per migliorarne la funzionalità, sia per attuare le disposizioni normative in materia di sicurezza per l'esercizio degli impianti sportivi. In questo contesto, fu costruita la copertura della tribuna (**Figura 24**) in struttura metallica, adottando una soluzione tanto semplice quanto efficace e di piacevole aspetto, robusta ma leggera. Le strutture reticolari, che realizzano uno sbalzo di 21 m, sono disposte al passo di 7 m come i telai delle tribune esistenti a cui sono collegate. Esse sono formate da due spezzoni assemblati in officina e collegati in opera attraverso giunti disposti nella porzione verticale retrostante la tribuna di c.a., capaci di far fronte al momento flettente: il giunto soggetto a trazione, costituito da una cerniera sul nodo in cui convergono quattro aste, e l'altro, tipicamente compresso, costituito da una flangia bullonata che ripristina la continuità del ritto. La struttura metallica è ancorata all'anima del traverso della tribuna con piatti bullonati da entrambi i lati per tutta la lunghezza di questo.

Bartelletti non era un ingegnere tipicamente geotecnico. Tuttavia, aveva la cosiddetta sensibilità ingegneristica d'altri tempi che gli consentiva, con poche schematizzazioni e con calcoli di verifica relativamente semplici, di conseguire il risultato adeguato anche in questo ambito.

Molto spesso, l'intervento riguarda elementi strettamente connessi all'esecuzione o alla stabilità definitiva dell'opera in elevato - fondazioni, ancoraggi, palancolate provvisorie o definitive, diaframmi, *jet-grouting*, muri di contenimento - ma talvolta il motivo del suo incarico professionale è il fenomeno franoso in sé, cui generalmente era esposta una strada. Anche qui l'impostazione del lavoro è sostanzialmente pragmatica, con calcoli fondati su metodi semplici e di agevole controllo, mentre le soluzioni adottate sono sostanzialmente quelle classiche: muri a secco del tipo *crib-wall* con colmate al piede della nicchia

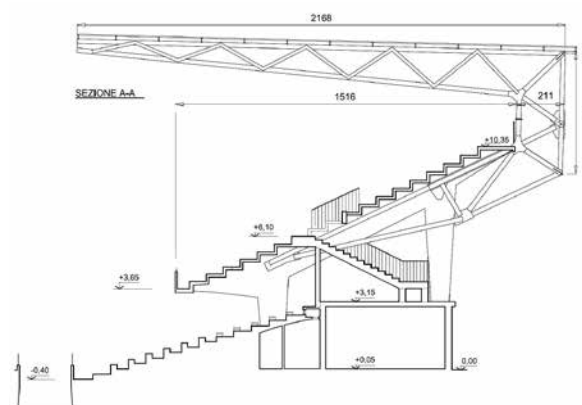


Figura 24. Stadio di Grosseto, progetto della nuova copertura della tribuna.

di frana (Verrucole - San Romano in Garfagnana-LU) o introduzione di sistemi resistenti come palificate ancorate o meno in testa (Verrucole e due frane in Sillicagnana (LU), San Romano in Garfagnana (LU)) o sormontate da muri a retta (tre diverse frane nel comune di Roccalbegna (GR)), o inserimento di dreni (Frana del Cerro - Sillicagnana (LU) - San Romano in Garfagnana (LU)).

Non mancano però soluzioni che mostrano una certa confidenza e libertà d'impiego dei mezzi, come nel caso della frana SP 56 presso Giucano - Fosdinovo (MS) dove, per l'eccessiva potenza dello strato mobile e l'imponenza delle masse attivate, si rinuncia a fermare il fenomeno franoso e si progetta una struttura di sostegno per trasformare la strada interessata dal dissesto in una sorta d'impalcato da ponte fondato

su pali spinti fino al litotipo stabile, mentre i tiranti in roccia svolgono la funzione di impedire la deriva della strada sotto l'effetto di un possibile trascinarsi da parte del terreno instabile (Figura 25).

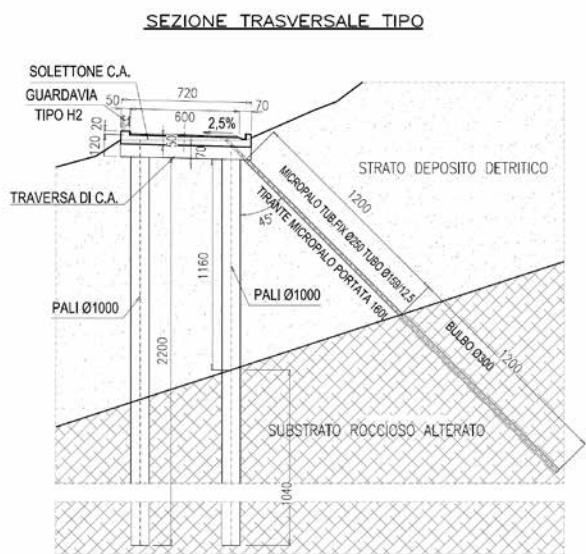


Figura 25. Intervento a Giucano (MS). Stabilizzazione della strada con pali e tiranti in roccia.

Nella frana del Cerro a Sillicagnana, invece, oltre ai dreni collocati lungo la massima pendenza, viene disposta tra due affioramenti di roccia stabile una trincea drenante di foggia arcuata con grandi blocchi di pietra, confidando, come apporto stabilizzante supplementare rispetto allo smaltimento delle acque, nel suo impegno statico come struttura spingente (Figura 26).

Invece, per la stabilizzazione del pendio che circonda il Bastione del Cassero, sito nella parte Sud-Est della Rocca Antica della Fortezza di Volterra (PI), la soluzione prescelta e condivisa con il collega e amico Luciano Caroti può essere solo di forza e confinamento del terreno del costone particolarmente acclive (Figura 27). In questo caso, la notevole potenza del terrapieno interno che non ha rispondenza all'esterno delle mura ed è causa di spinte ingenti, aveva causato numerose lesioni che, in crescente apertura, testimoniavano uno stato di sofferenza perdita progressiva della continuità delle strutture. La particolare ripidezza del pendio su cui si erge questa parte del bastione non garantiva la stabilità del complesso terreno-struttura. Gli interventi previsti per la stabilizzazione del pendio ai piedi della fortezza e per l'alleggerimento delle spinte sulla cerchia muraria sono essenzialmente due. Il primo consiste nella realizzazione di una cerchiatura del terreno sottostante il bastione attraverso un doppio allineamento di micropali, collegati in sommità da un robusto cordolo in c.a., a ridosso delle attuali fondazioni delle mura sud-est del bastione, laddove il pendio è più ripido; il secondo vuole creare una sorta di scudo su tutta la superficie del pendio sottostante il manufatto, mediante la realizzazione di

un sottile rivestimento di c.a. ancorato in profondità con tiranti inclinati di tipo permanente, formati da trefoli di acciaio armonico pre-sollecitati, con la funzione di introdurre azioni stabilizzanti all'interno dell'ammasso di terreno interessato dal possibile scorrimento. Tale rivestimento, dotato di risalti di ritegno della coltre, è in grado di impedire il dilavamento superficiale così come pure i piccoli crolli che nel tempo avrebbero potuto rendere più acclive il pendio. Il ripristino della compagine muraria sconnessa completa gli interventi in progetto.

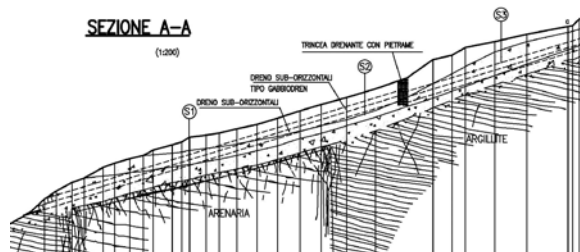
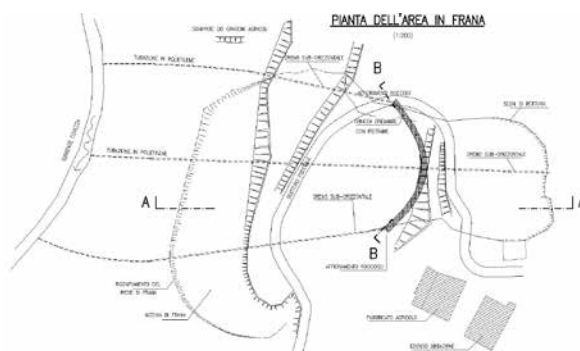


Figura 26. Frana del Cerro - Sillicagnana - San Romano

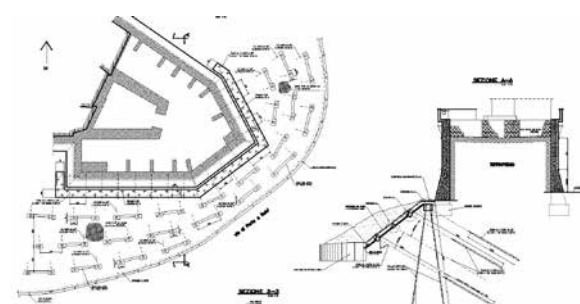


Figura 27. Bastione del Cassero a Volterra (PI). Stabilizzazione del costone con tiranti in roccia, micropali e rivestimento armato.

LE COSTRUZIONI DEL PASSATO

Bartelletti ammirava le costruzioni del passato e nutriva una grande passione per i testi sull'arte del costruire, dai trattati, alle monografie di opere realizzate, ai semplici manuali tecnici di ogni epoca, alle rappresentazioni grafiche dei monumenti, in cui era solito osservare la rispondenza dei particolari al vero. Con orgoglio, egli contribuì alla selezione dei

testi più interessanti sulla scienza, la tecnica e l'arte del costruire, con particolare riferimento ai ponti, tra le centinaia di volumi pubblicati nell'Ottocento presenti nella biblioteca della Facoltà di Ingegneria. Oggetto di particolare interesse erano per lui gli archi, non solo quelli delle strutture da ponte, di cui si dilettava a tracciare la linea di intradosso e, osservando la conformazione dei conci, a indovinare la posizione del centro di ogni segmento circolare componente il profilo.

Ad ogni nuova scoperta sulle antiche tecniche costruttive o sulle teorie d'epoca a supporto, seguiva il piacere di condividerla con altre persone interessate. A volte, specialmente al termine della giornata lavorativa, poco prima di cena, gli capitava d'intrattenersi con colleghi o collaboratori che, cogliendo il momento di relativa calma, gli rivolgevano domande su questioni scientifiche o tecniche, utili a uno scambio di pareri e a fare tesoro di conoscenze sull'arte del costruire che Bartelletti custodiva e rivelava con grande generosità. La sua passione, unita alla sua capacità d'insegnamento, lo rendeva, nel rapporto confidenziale e informale, sorprendentemente eloquente e comunicativo, libero dalla consueta e talora austera riservatezza di altri contesti. D'altra parte, i suoi interlocutori, spesso ex allievi, non mancavano di notare la chiarezza e la linearità di esposizione, apprezzabili, nel dettaglio pratico, più delle lezioni genericamente espositive ricordate in aula. La sua abilità di scovare, nella sua poderosa biblioteca, metodi, formule, procedimenti, grafici, oggetto della conversazione, puntando su un testo ed aprendolo alla pagina e al punto risolutivo della questione lasciava stupefatti e, quando tale stupore gli veniva manifestato, ne sorrideva compiaciuto.

Le costruzioni storiche avevano per lui un'anima da scoprire, densa di sapienza costruttiva i cui segreti solo l'esperienza tecnica avrebbe potuto svelare. Questa convinzione lo sospingeva con entusiastico interesse allo studio delle antiche costruzioni e alla progettazione delle opere di consolidamento con un approccio conoscitivo quasi esegetico, volto all'esame diretto delle opere e dei testi attuali e dell'epoca. Così fu per lo studio sui ponti ottocenteschi di Lorenzo Nottolini (1707-1851), architetto regio e ingegnere del Consiglio delle acque, strade e macchie del Ducato di Lucca, personaggio di straordinaria capacità tecnica. In quell'occasione, Bartelletti si impegnò a percorrere le impervie strade della Garfagnana, ispezionando personalmente con entusiasmo i ponti progettati dal Nottolini uno ad uno. Quando possibile, scendeva lungo le scarpate fino al greto dei torrenti per osservare da vicino i dettagli e gli eventuali segni di dissesto, allo scopo di comprendere meglio le caratteristiche dei manufatti e confrontarle con

quelle riportate nei numerosi disegni originali raccolti presso l'Archivio di Stato di Lucca.

Nel delineare una sorta di filo conduttore attraverso la storia delle costruzioni civili del XIX secolo, Bartelletti vi riconobbe, perfettamente interconnessi e correlati, alcuni caratteri della produzione nottoliniana. Nei particolari costruttivi del meraviglioso e originale ponte delle Catene di Fornoli (Figura 1), vicino a Bagni di Lucca, individuò infatti la derivazione dai modelli riportati nel Trattato sui ponti pensili di Navier. Similmente, osservò il legame tra la forma dei singoli ponti nottoliniani a sesto acuto di Galliciano, Bolognana e Rivangaglio e l'immagine del frontespizio di una edizione del trattato sui ponti di Gauthey. Come spesso accadeva in questi casi, lo studio non si concluse con una pubblicazione vera e propria, ma i risultati furono presentati in forma di seminario ed espressi sinteticamente in documenti di vario tipo¹. Molti erano i suoi interessi nell'architettura del passato e svariati sono stati i casi in cui si è occupato di consolidamenti strutturali, sempre a fianco dall'architetto incaricato. Tra le opere monumentali che Bartelletti fece oggetto di studio e di contributo professionale è anche il famoso Campanile di Pisa, noto come la Torre Pendente. Dal 1983 al 1985 partecipava infatti al gruppo incaricato dal Ministero dei Lavori Pubblici per il progetto di consolidamento della Torre, mentre dal 1997 al 2001 era Responsabile Tecnico dei lavori di consolidamento su incarico del "Comitato Internazionale per la Salvaguardia della Torre di Pisa". La Torre, com'è noto, è stata oggetto di un intervento di stabilizzazione conclusosi nel giugno 2001. Al termine di una grande mole di studi e ricerche e tra le diverse ipotesi iniziali, la scelta è ricaduta su un intervento di estrazione controllata di piccoli volumi di terreno sul suo lato nord, al di sotto del piano di fondazione (la cosiddetta sotto-escavazione) finalizzata a indurre un cedimento parzialmente compensativo di quello spontaneo verso sud. L'effetto conseguente è stata la riduzione dell'inclinazione della Torre di circa mezzo grado, pari a circa il 10% del valore originario. Oltre a migliorare le condizioni di stabilità della fondazione e dello stato tensionale nella muratura, l'intervento ha consentito di minimizzare il vero rinforzo strutturale, salvaguardando non solo l'integrità formale, ma anche quella materiale e storica del monumento. Gli studi diagnostici del cedimento della Torre e volti alla concezione e all'attuazione di soluzioni provvisorie e definitive sono stati costantemente oggetto di attenzione da parte dei media e trattati in numerosi articoli scientifici pubblicati in varie sedi specialistiche. Meno note, ma ugualmente importanti, sono state la progettazione esecutiva e la realizzazione materiale degli interventi definitivi concepiti dal Comitato, attività svolte dal "Consorzio Progetto Torre

1. Uno sguardo sull'ingegneria strutturale dell'Ottocento, di Raffaello Bartelletti, Francesco Cafarella in "I Libri della Scienza - la collezione ottocentesca della Biblioteca di Ingegneria" - Catalogo della mostra Pisa, La Limonaia di Palazzo Ruschi, Vicolo del Ruschi 15-28 aprile 2004. A cura di Claudia Lamberti - Servizio tipografico dell'Università di Pisa 2004.

di Pisa”, formato dalle Società Trevi, Rodio, Italsonda, ISMES e Bonifica. Nel ruolo di responsabile tecnico dei lavori, Bartelletti ha partecipato attivamente all’operazione di salvataggio della Torre, trasferendo le direttive del Comitato e controllandone personalmente la corretta esecuzione. Nel 1999, inoltre, in previsione dell’inizio dei lavori di sotto-escavazione, ha svolto, nell’ambito del più vasto incarico affidato dal Comitato al Consorzio, lo “Studio di sintesi dei dati afferenti alle interazioni tra la struttura di fondazione della Torre ed il Catino”. Occorre qui precisare che è comunemente denominato “Catino” il bacino anulare che circonda la Torre costituito da una platea di calcestruzzo circondata da un muro di mattoni a retta del terreno e realizzato nel 1835-36 dall’architetto Gherardesca per riportare alla luce il basamento della Torre e liberarlo dalle acque. Il problema dell’acqua, ripresentatosi un secolo dopo, richiese nuovi lavori di consolidamento della fondazione e di impermeabilizzazione, che furono realizzati dall’impresa Rodio di Milano negli anni 1933-35. In questa circostanza, alla base della Torre furono eseguite 361 iniezioni di malta cementizia in pressione, previa cementazione di tubi guida metallici $\phi 67/3,5$ della lunghezza di 70–80 cm.

Il rinvenimento nel 1995 di queste appendici tubolari sollevò nel Comitato il dubbio che potessero parzialmente vincolare la fondazione della Torre con la platea di fondo del Catino e la questione se convenisse eliminarle, ottenendo certezza d’indipendenza statica tra Catino e Torre, ovvero integrarne la funzione di connessione sì da rendere il Catino una sorta di ampliamento perfettamente solidale della superficie fondale su cui fare sicuro affidamento. L’incertezza sulla resistenza di tale vincolo in vista della sottoescavazione motivò in parte lo studio di sintesi svolto da Bartelletti, il quale, oltre a restituire precisamente la geometria del Catino e delle attrezzature messe in opera fino ad allora, condusse un’analisi approfondita dei movimenti del Catino e della Torre a scopo comparativo. L’analisi rivelò la potenziale capacità del vincolo tra Torre e Catino di consentire la trasmissione di forze verticali capaci di danneggiare la struttura del Catino durante la sotto-escavazione. Sulla base dello studio, il Comitato predispose in concreto, anche sotto il Catino nelle zone est e ovest della Torre, attrezzature per un’estrazione controllata del terreno, poi rivelatasi non necessaria. Bartelletti ritenne inoltre di rinforzare il muro perimetrale di mattoni, elemento strutturale del Catino che appariva più debole e che avrebbe potuto lesionarsi. La soluzione per il rinforzo, da lui proposta, progettata e seguita nella realizzazione, fu una trave anulare di cemento armato in sommità del muro, ribassato di conseguenza per l’altezza corrispondente. In Figura 28 è riportato il particolare del Catino nella sezione nord-sud della Torre in epoca precedente la sotto-escavazione. Durante la sua realizzazione (giugno 2000) la trave di coronamento

fu validamente connessa al muro sottostante e alla platea di fondo con cuciture armate doppiamente inclinate, inserite in perforazioni all’interno del muro, come illustrato nella Figura 29.

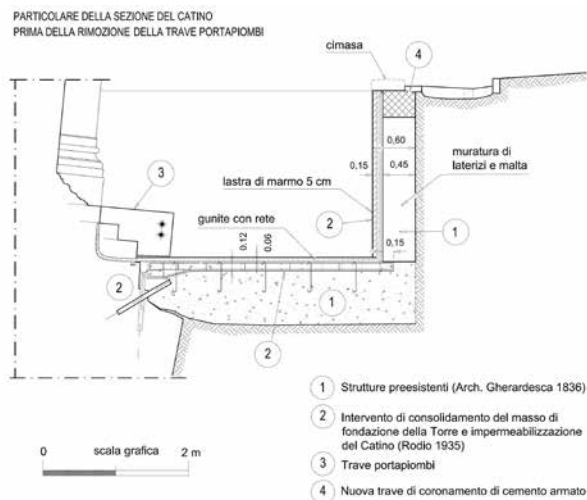


Figura 28. Lavori di stabilizzazione della Torre di Pisa. Particolare della sezione del Catino dal lato sud prima della rimozione della trave porta-piombi.

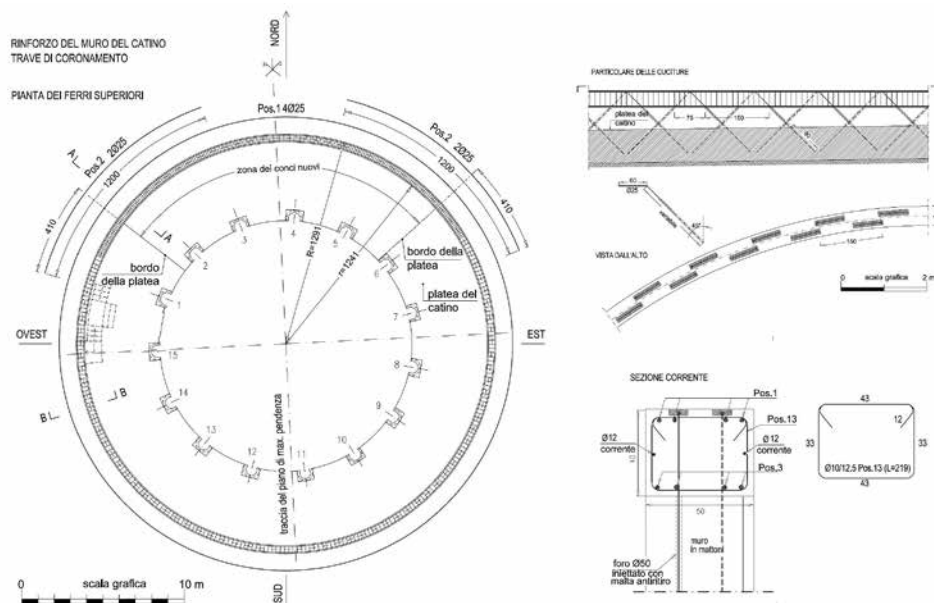


Figura 29. Lavori di stabilizzazione della Torre di Pisa. Alcuni dettagli tratti dagli elaborati grafici del progetto esecutivo di rinforzo del Catino (in alto); Immagini relative alla realizzazione della trave anulare di coronamento del Catino (in basso). Da sinistra: posa dell’armatura e dei casseri; getto del conglomerato; inserimento delle barre di cucitura.

Al termine del suo impegno riguardante la stabilizzazione della Torre, Bartelletti ci ha lasciato una preziosa testimonianza nel libro intitolato "La Torre salvata. Una storia per immagini" (Pacini Editore 2004), in cui sono raccolte tutte le fasi della progettazione e realizzazione delle opere per la stabilizzazione della Torre, esposte con estrema semplicità. La narrazione riflette con chiarezza il pensiero di Bartelletti sulle opere realizzate, adottando un tono delicato e discreto, ma al contempo incisivo ed esaustivo. Grazie all'integrazione di disegni, grafici e fotografie, il contenuto risulta accessibile e comprensibile anche a chi non possiede conoscenze tecniche specifiche. Il libro rimane la testimonianza più nitida, sintetica e completa di quanto realizzato per la stabilizzazione della Torre.

Dopo la conclusione dei lavori, Raffaello Bartelletti divenne consulente del Gruppo di Sorveglianza, istituito nel 2002 per occuparsi del mantenimento della sicurezza della Torre, rimanendo da allora il punto di riferimento operativo per l'Opera della Primaziale Pisana.

Tra i numerosi consolidamenti strutturali che Bartelletti ha progettato su edifici del patrimonio storico-artistico, interventi particolarmente significativi sono quelli realizzati nel duomo di Pietrasanta (LU), nella chiesa di San Pietro in Vinculis a Pisa e nella cattedrale di San Martino a Lucca. Più recentemente, in collaborazione con Francesco Tomassi, Bartelletti si è occupato del restauro del Compendio di San Silvestro, attualmente sede del National Enterprise for nano-Science and nano-Technology della Scuola Normale di Pisa, del restauro del monastero delle ex-Immacolatine a Pisa, oggi sede del Collegio Terzani della Scuola Superiore Sant'Anna.

Il Duomo di Pietrasanta, risalente al XIV secolo e intitolato a San Martino, ha la pianta a croce latina, a tre

navate, con cupola a pianta ottagonale, posizionata all'intersezione tra transetto e navata centrale (Figura 30). In prossimità della facciata, si trova il rosso campanile, una torre in muratura a base rettangolare dell'altezza complessiva di 36 m con paramenti esterni in mattoni e tipici risalti, predisposti per l'ancoraggio di un rivestimento in pietra pregiata mai posto in opera, e con paramento interno conformato a elica, sorprendentemente ricavata col gioco sapiente ed elegante di progressive sporgenze e rientranze dei mattoni per alloggiarvi la scala. La chiesa, pur oggetto di un imponente rinnovamento nel XVII secolo, durante il quale furono effettuate, specialmente sulla cupola, diverse trasformazioni, restauri e riparazioni, negli anni '90 del secolo scorso mostrava gravi dissesti statici, soprattutto a carico delle strutture di sostegno della cupola e delle volte a crociera della navata centrale e dei transetti. La forte sollecitazione indotta dagli archi secondari all'imposta della cupola, nascosti dietro ai pennacchi sferici (Figura 30), aveva lesionato gravemente gli archi principali sul lato destro e sinistro (Figura 31). Le ragioni del dissesto sono da ricercare nella modesta qualità del materiale da costruzione, malta e mattoni, e nella realizzazione degli archi in rotoli successivi e concentrici, scarsamente collegati tra loro.

In alcuni casi, le volte della navata centrale e dei transetti, costituite da mezzane in folio, risultavano a loro volta deformate e lesionate, mentre i tetti, appesantiti da uno spesso massetto di calcestruzzo messo in opera per regolarizzare le falde, avevano l'orditura lignea principale e secondaria inflessa irreversibilmente. Il paramento esterno del campanile, a sua volta, presentava un notevole degrado, con frequenti fenomeni di distacco di frammenti di mattoni dalla superficie, probabilmente mal cotti all'origine e quin-

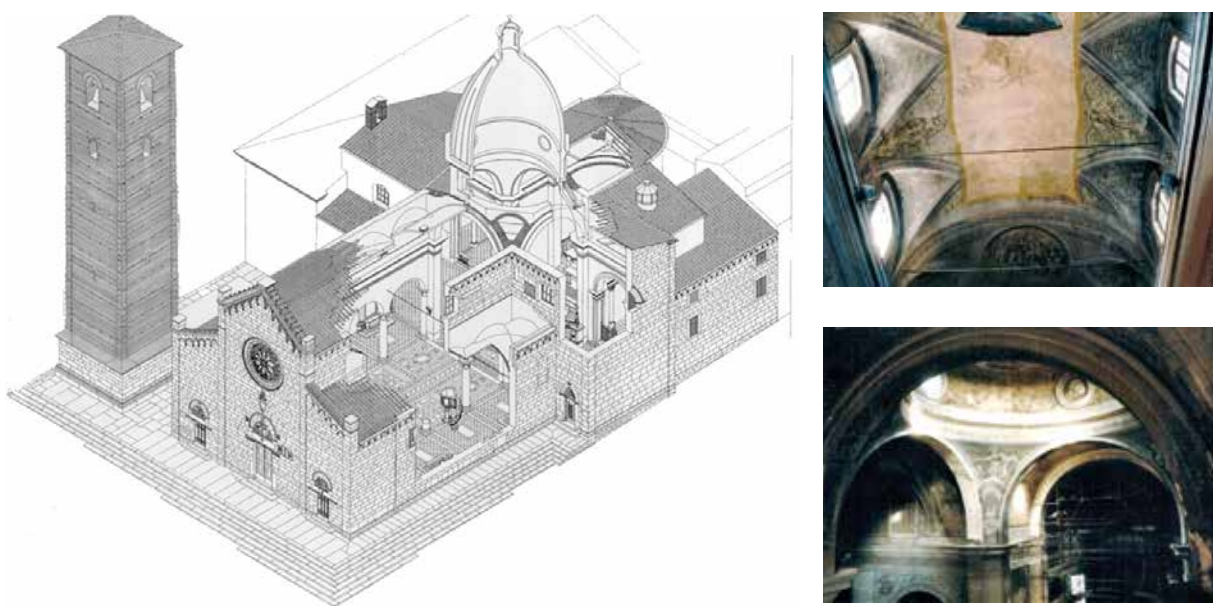


Figura 30. Il Duomo di San Martino a Pietrasanta (LU). Da sinistra: spaccato assonometrico dell'edificio, vista delle volte in folio di copertura e vista degli archi di sostegno della cupola.

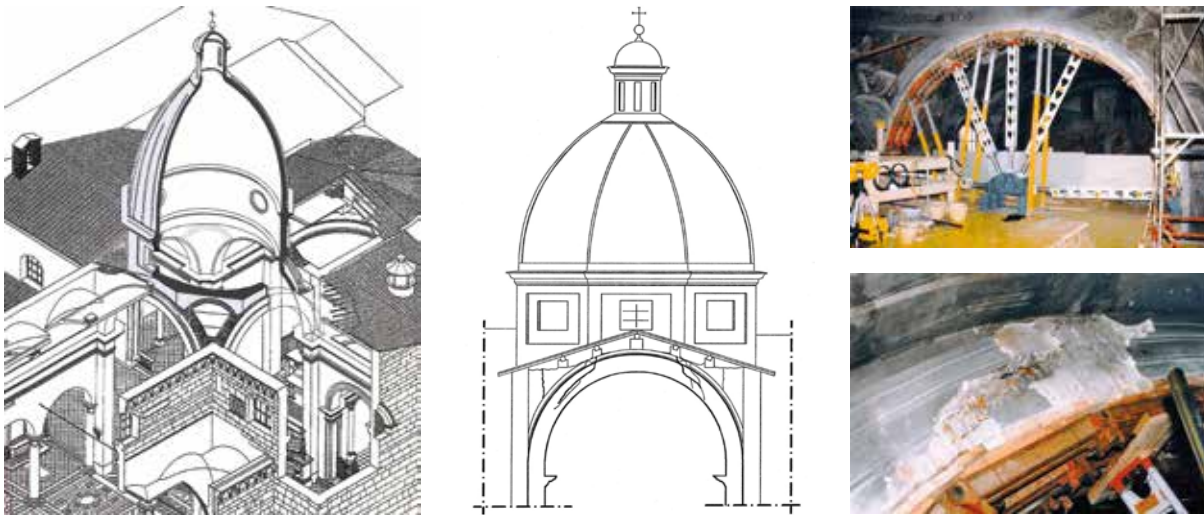


Figura 31. Il Duomo di San Martino a Pietrasanta (LU). Da sinistra: spaccato assonometrico della cupola; quadro fessurativo in uno degli archi di sostegno della cupola; centina realizzata per il sostegno degli archi e fessura che attraversa l'arco, visibile nella porzione privata dell'intonaco.

di poco resistenti all'azione degli agenti atmosferici. A seguito di approfondite indagini conoscitive, il gruppo di lavoro, costituito da Raffaello Bartelletti, Pierluigi Bianchi, Ugo Davini, Danilo Orlandi, Franco Piacenti e coordinato da Marco Davini, progettò il consolidamento in conformità ai principi di minimo intervento, per il conseguimento della sicurezza e all'insegna della reversibilità. Oggetto del consolidamento statico furono la struttura della cupola, le volte adiacenti e il campanile. Nella chiesa fu installata una poderosa opera di puntellamento degli archi principali (**Figura 31**), con centine e incastellature modulari, leggere e versatili, fondate su micropali, grazie alla quale fu possibile riprendere immediatamente le funzioni di religiose. Dopo la messa in sicurezza della struttura, si procedette al taglio e all'asportazione delle porzioni degli archi lesionate, che furono poi ricostruite con materiali idonei a sopportare le sollecitazioni indotte dal carico trasferito dagli archi secondari.

Le volte in folio, invece, dopo la sigillatura dei giunti, furono appese tramite tasselli a secco a una leggerissima struttura reticolare spaziale in acciaio inox, in appoggio sui muri perimetrali della chiesa, a presidio

passivo attivabile in caso di necessità e perfettamente removibile (**Figura 32**). Al consolidamento statico seguirono il recupero delle tempere, il restauro della facciata neogotica e il rifacimento della copertura con un tetto più leggero e ventilato con orditura lignea rinnovata.

Anche il consolidamento statico della chiesa di San Pietro in Vinculis a Pisa, nell'ambito del più ampio intervento di restauro diretto da Salvatore Re, è il frutto di un lavoro multidisciplinare che ha coinvolto diverse figure professionali.

L'antico edificio a tre navate risalente all'XI secolo, situato in un aggregato storico nel centro di Pisa, era stato dichiarato inagibile nel 1994 a causa del grave degrado strutturale. La spinta non adeguatamente contrastata delle arcate interne della navata centrale aveva prodotto nella facciata importanti deformazioni, accompagnate da un evidente quadro fessurativo (**Figura 33**). Fenomeni correlati si presentavano sulle pareti sostenute dalle arcate della navata centrale con un'ampia gamma di manifestazioni, dalle minute e diffuse fessurazioni, fino alla depressione dei conci in chiave (**Figura 34**). La facciata, sensibilmente strapiombante, nonostante più volte nei secoli ricol-



Figura 32. Il Duomo di San Martino a Pietrasanta (LU). Da sinistra: la struttura reticolare spaziale in acciaio inox progettata per il sostegno passivo della volta; vista dell'estradosso della volta rinforzata dalla struttura reticolare.

legata alle pareti adiacenti, continuava a mostrare l'incapacità di mantenere un vincolo stabile con la parete laterale nord, che, sotto la spinta delle volte di copertura e di quelle della sottostante cripta impostate fuori terra, tendeva ad assumere comportamento autonomo, ruotando alla base verso l'esterno. Le stesse volte della cripta, ordite in entrambe le direzioni orizzontali, risentivano della scarsa affidabilità della parete di appoggio, manifestando fessurazioni in chiave e distacchi sul perimetro nella porzione sovrastante l'imposta adiacente alla parete nord. Numerose ed articolate indagini diagnostiche avevano fornito un importante ausilio per comprendere origini ed entità del dissesto, effettuare la scelta delle soluzioni progettuali e valutare la fattibilità delle operazioni di cantiere, mentre il dibattito con la Soprintendenza aveva consentito di contemperare le esigenze della sicurezza del fabbricato con quelle

della conservazione dei suoi valori storico-artistici. L'intervento di consolidamento mira sia a conseguire la sicurezza statica dell'edificio, sia a ridurne la vulnerabilità sismica, con l'intento di ricomporre la compagine della fabbrica e garantirne il comportamento scatolare, inibendo la formazione di meccanismi di ribaltamento locali e neutralizzando al contempo le azioni degli elementi spingenti. L'esigenza imperativa che i consolidamenti non risultino visibili condiziona la scelta della soluzione. Sono quindi stati realizzati:

- l'incatenamento della facciata principale nel proprio piano per rinforzare la muratura, conferendole resistenza a trazione in direzione orizzontale, e suturando le lesioni rilevate (Figura 33);
- il presidio della facciata contro il ribaltamento, attraverso il suo collegamento alle due pareti contenenti le arcate interne, che così risultano anch'esse rinforzate (Figura 33 e 34);

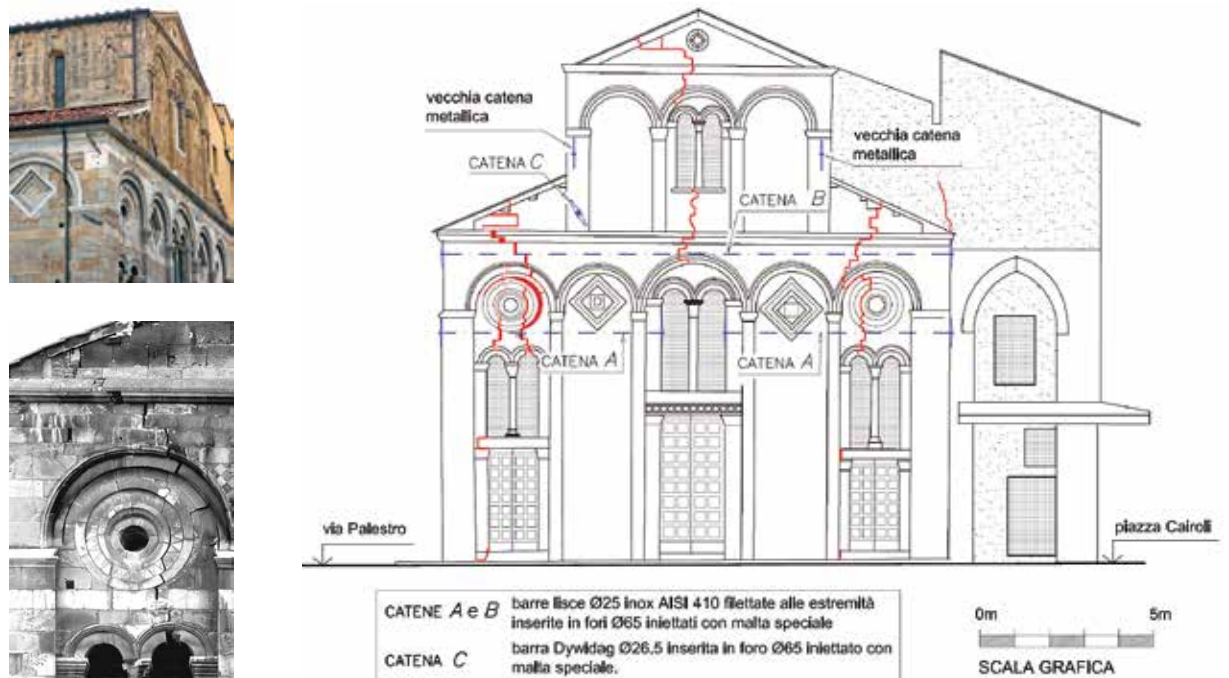


Figura 33. La chiesa di San Pietro in Vinculis a Pisa. Sintomi di dissesto della facciata con indicazione dei quadri fessurativi e dei dispositivi di rinforzo.

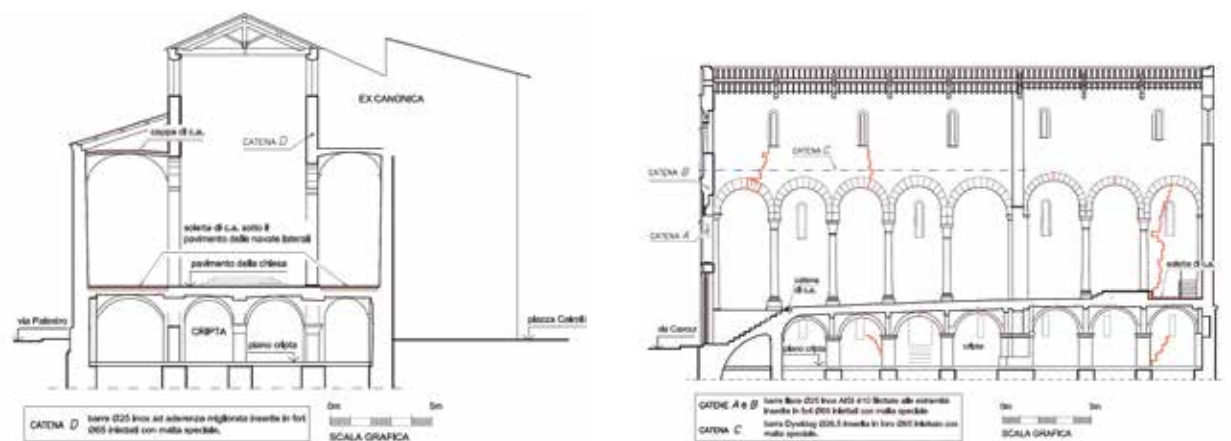


Figura 34. La chiesa di San Pietro in Vinculis a Pisa. Sezioni trasversale e longitudinale con indicazione del quadro fessurativo interno e dei dispositivi di rinforzo.

- una cappa in c.a. sopra le tre volte della navata laterale sinistra, a cucitura delle murature perimetrali lesionate e a collegamento della zona d'angolo in prossimità della facciata (Figura 34);
- una soletta di c.a. sotto il pavimento della chiesa, a sviluppo perimetrale su tre lati, coadiuvata da un tirante trasversale in c.a., con la duplice funzione di contrasto a ulteriori eventuali rotazioni alla base delle pareti e di rinforzo per le sottostanti volte in bozze di calcarenite, visibilmente lesionate in chiave (Figura 34).

Incatenamenti e cuciture sono nascosti alla vista, poiché le barre metalliche sono state disposte all'interno dello spessore delle pareti.

Pur preferendo le soluzioni attive, è stato possibile presollecitare soltanto la catena longitudinale sinistra (catena C), disposta nella zona più critica, a collegamento della facciata con la parete del cleristorio, ancorandone le estremità sulla facciata e sulla risega in corrispondenza dell'allargamento della navata centrale. La vicina catena D, ad esempio, non è stata invece presollecitata: la non rettilinearità in pianta della parete sulla notevole lunghezza di 29 m ha impedito la perforazione per catena unica a due testate, obbligando a disporre due catene in fori eseguiti da estremità opposte, sovrapposte per un lungo tratto di trasferimento dello sforzo. Le barre passive, in acciaio inossidabile ad aderenza migliorata, sono state protette con l'iniezione di malte speciali nei prefori, mentre quella attiva, del tipo Dywidag, è stata inguainata per tutta la lunghezza. Particolarmente delicato è stato l'incatenamento di piano della facciata, che, a causa della presenza di elementi decorativi, disomo-

genei, opponeva alla perforatrice resistenze variabili. Fu frutto del lungo dibattito con la Soprintendenza la soletta di c.a., condizionata nella sagoma dalla conservazione parziale del vecchio pavimento in due porzioni che ne testimoniassero l'originaria fattura. Il consolidamento del paramento murario danneggiato, col riassetto degli elementi lapidei scomposti e la stuccatura dei giunti degradati, ha restituito infine alla chiesa l'aspetto originario.

Infine, appare degna di nota la progettazione della struttura di sostegno del lato nord del transetto della cattedrale di San Martino a Lucca, il cui muro ovest, a metà degli anni '90, manifestò sintomi di un grave dissesto imputabile alla particolare morfologia interna e al degrado dei materiali per qualità intrinseche e vicende costruttive. Per effetto del degrado del nucleo interno e di disuniformi scorrimenti viscosi, la migrazione degli sforzi aveva sovraccaricato il paramento calcareo esterno, mettendo in crisi gli elementi decorativi lapidei ai lati della grande apertura e i conci di facciata che presentavano sui bordi le fratture a scheggia, tipiche del superamento della resistenza locale. Nel 1994, un imponente tamponamento era stato infine eretto a chiusura del grande portale del transetto al fine di porre il muro in sicurezza. Dall'idea di Natale Gucci, amico fraterno e collega di Raffaello Bartelletti, nacque il progetto di un'originale struttura di presidio, completamente esterna alla chiesa, in grado di sostenere in modo attivo la parte alta del transetto e mantenerla in sicurezza durante l'intervento di consolidamento, per consentire lo smontaggio e la sostituzione delle parti ammalorate, pur conservando in sito le importanti decorazioni marmoree,

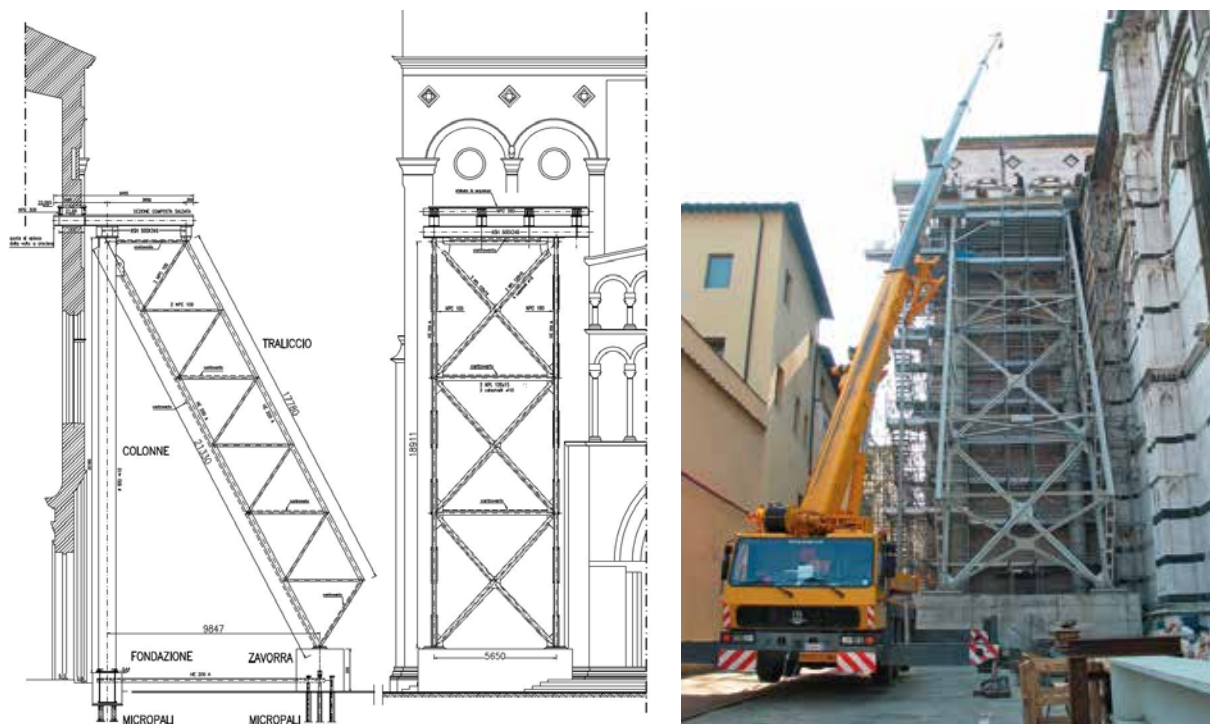


Figura 35. La struttura metallica di presidio della parete ovest del transetto sinistro della Cattedrale di San Martino a Lucca. Da sinistra: lo schema statico tratto dai disegni di progetto; il montaggio della struttura.

fino al completo ripristino dell'aspetto originale della costruzione. La progettazione esecutiva fu eseguita presso lo studio Bartelletti e il completamento della sua fedele esecuzione avvenne nel 2007. Un'imponente struttura metallica, dell'altezza di oltre 20 m, fu realizzata fino a raggiungere l'imposta delle volte a crociera a copertura del transetto. Il trasferimento del carico dal muro alla struttura metallica avveniva tramite un letto di tondi d'acciaio accostati del diametro di 70 mm, fatti passare attraverso la sezione muraria. Il dispositivo di sollevamento era costituito da un sistema di 20 grosse viti, disposte su entrambe le facce del muro, che, regolate con chiave dinamometrica in sequenza, contrastavano in alto su due profilati orizzontali a C, saldati alle porzioni dei tondi fuoriuscenti dal muro e in appoggio sulle estremità di quattro mensole metalliche della struttura di presidio. Queste, a loro volta, trasferivano il carico alle due sottostanti colonne fondate su pali, mentre l'equilibrio alla rotazione dell'intera struttura era assicurato da un traliccio ancorato a una zavorra di calcestruzzo (Figura 35). La messa in forza avvenne con successo nel maggio 2007, con il taglio orizzontale del muro sottostante. La struttura metallica fu smontata qualche anno dopo, confermando le capacità funzionali previste nella fase di progettazione, sebbene meno utili a fronte della successiva decisione degli Enti di Tutela di rinforzare il muro con iniezioni nelle porzioni degradate, senza procedere alla prevista cospicua sostruzione muraria.

Bartelletti progettò interventi di consolidamento non solo su edifici antichi, ma anche su strutture moderne del patrimonio storico-artistico, come è stato per quelle progettate dall'ingegner Pier Luigi Nervi per lo Stadio comunale Artemio Franchi di Firenze. Inaugurato nel 1932, lo Stadio è un'opera di indiscusso valore, sia sul piano tecnico, sia su quello architettonico, come lo stesso Bartelletti scrive a proposito della pensilina della tribuna: *"una delle più belle e significative realizzazioni di cemento armato, con l'aggetto inusitato di 18 m, vero record per quei tempi, il cui meccanismo statico è rilevato all'esterno dall'ingegnoso sdoppiamento della nervatura che assicura un poderoso incastro alla mensola, in cui l'elemento inferiore, corrente compresso divaricato per aumentare l'altezza utile della sezione, diviene nel contempo, senza peraltro assumerne il consueto banale aspetto, puntone inclinato che ad un estremo sorregge la mensola, mentre con l'altro blocca il flusso delle trazioni nel tirante posteriore, deviandolo nella catena orizzontale e realizzando così un sistema statico chiuso, non richiedente ancoraggi a terra"*². Due precarie tettoie metalliche avevano occultato i prospetti laterali della pensilina, celando così la meravigliosa struttura della tribuna. L'intervento, realizzato in vista dei campionati mondiali di calcio del 1990 (Figura 36), mirava a

restaurare lo Stadio e ad aumentarne la capienza fino a 50.000 posti a sedere. La progettazione e la direzione artistica dell'intervento fu degli architetti Gamberini, Meacci, Novelli, Slocovich e Miroddi, mentre la progettazione delle strutture e la direzione dei lavori fu affidata a Raffaello Bartelletti, coadiuvato da Marco Pascucci e da Alberto Bove ed Enrico Baroni dell'Università di Firenze. Il principio informatore di conservare e valorizzare il monumento esistente fece concepire anche le nuove strutture, realizzate seguendo i più aggiornati criteri della tecnica delle costruzioni metalliche, verso l'assoluta semplicità, in maniera da non *"...turbare in alcun modo l'atmosfera di sereno equilibrio che si percepisce all'interno di questo Stadio"*³.

Le considerazioni di origine strettamente tecnica hanno guidato su questa linea la progettazione del prolungamento della copertura ai due lati della tribuna, mediante una nuova struttura metallica avente lo stesso profilo dell'esistente. In particolare, le nuove coperture furono progettate distaccate di circa 1.5 m dalla pensilina, coprendo il varco con policarbonato trasparente, e accuratamente profilate in modo che la loro curva direttrice di intradosso venisse a coincidere con la curva di estradosso della pensilina esistente, in maniera tale che questa potesse rimanere perfettamente visibile con il suo originario prospetto. La necessità di uno schema statico completamente autonomo dalle strutture esistenti obbligò a far passare le colonne attraverso le gradinate stesse, condizionandone posizione, dimensione e deformabilità, in relazione alla ridotta ampiezza del foro realizzato tra due alzate consecutive. La porzione emergente dalle gradinate è stata mantenuta relativamente esile, anche per favorire la visibilità del campo, mentre, data la notevole altezza libera da terra delle colonne, la porzione sottostante è stata notevolmente irrigidita mediante accoppiamento della colonna tubolare a quattro mezzi profili HE. Le travi principali della nuova pensilina sono costituite da profili composti a doppio T di altezza variabile, con aggetto pari a quello delle pensiline esistenti; alcune di esse, allo scopo di eliminare sostegni interferenti con gli ingressi, sono portate in falso dalle travi che corrono sulle colonne e sui tiranti e ne costituiscono anche i controventamenti longitudinali. I tiranti posteriori delle mensole sono della massima snellezza compatibile con la possibilità estrema di inversione di segno dello sforzo, conseguente ad eccezionali sfavorevoli condizioni di carico aerodinamico; snellezza che riduce al minimo l'impatto visivo sul prospetto principale esterno dello Stadio, di fronte al quale, inevitabilmente, discendono i tiranti stessi. Nello spirito di salvaguardare al massimo l'identità delle strutture esistenti, quasi nessuna struttura visibile fuori terra è stata realizzata in cemento armato. Pertanto,

2. Tratto da Bartelletti R. (1990). I Lavori di ampliamento e restauro dello stadio Nervi a Firenze. Ingegneri, pp. 6-10, Lucca, 1990.

3. Tratto da op. cit.

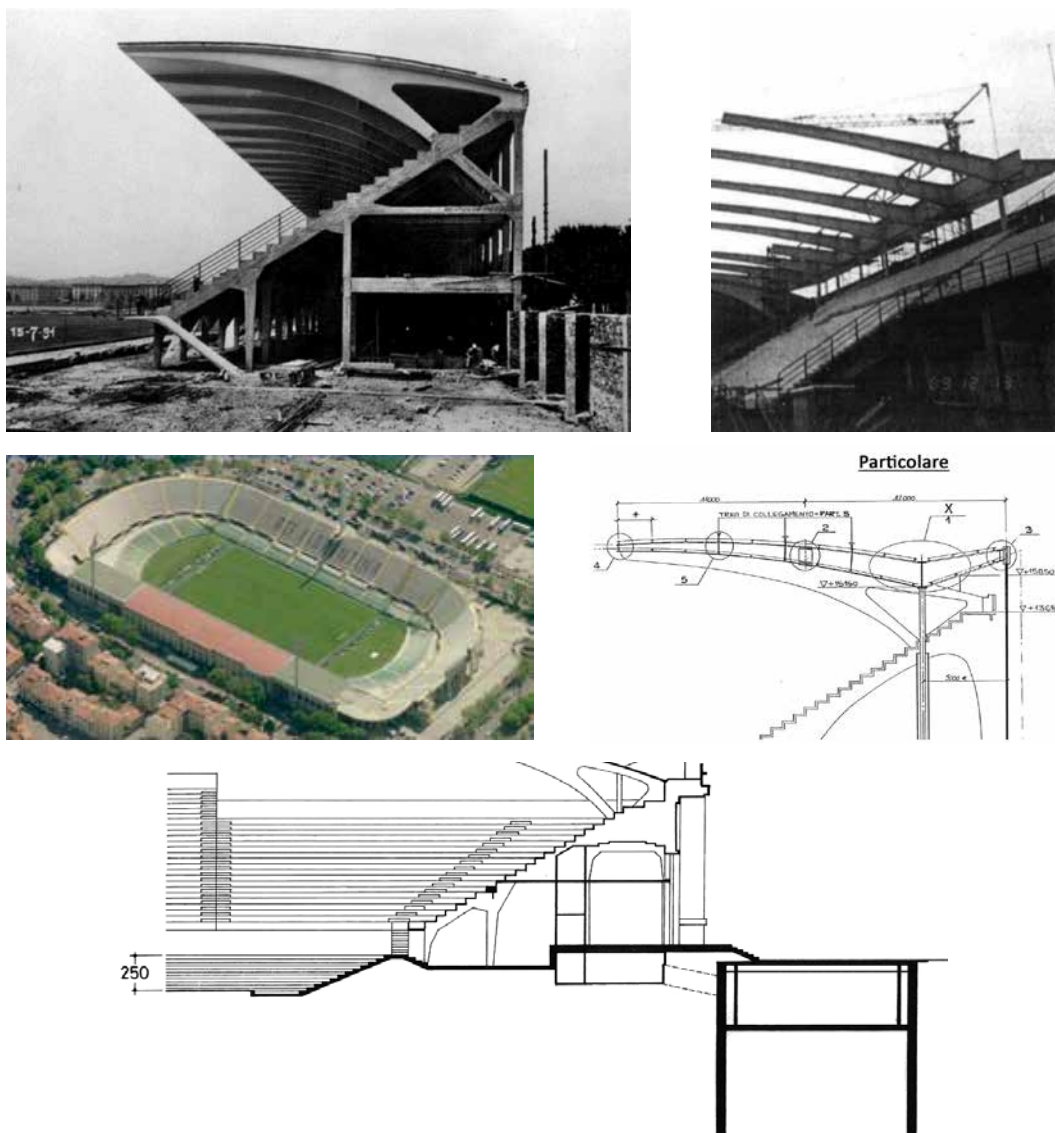


Figura 36. Lavori di ampliamento dello stadio Artemio Franchi di Firenze (1990). Dall'alto: la pensilina dopo il disarmo nel 1931; le nuove pensiline in costruzione (1989); lo stadio visto dall'alto con l'ampliamento delle pensiline; particolare del progetto della pensilina metallica; prospetto laterale con vista del profilo delle due pensiline.

oltre alle nuove coperture, sono state costruite in carpenteria metallica due padiglioni, eventualmente removibili, posizionati sotto le tribune principali, destinati ad accogliere uffici e locali vari di servizio, le quattro grandi torri di illuminazione di 56 m e 42 scale di deflusso dalle gradinate superiori al parterre con le due scale esterne di accesso alla sommità delle gradinate.

Per accrescere la capienza dello Stadio evitando soluzioni di ampliamento in elevato incompatibili con i vincoli architettonici e inutili complicazioni statiche, fu ricavato un ordine di gradinate a bordo campo, eliminando la pista di atletica, provvedimento in linea con l'intento di specializzare lo Stadio per il solo sport del calcio, e abbassando la quota del campo di gioco di 2.5 m. L'enorme scavo di circa 40.000 mc richiese accurate indagini volte ad accertare la variazione di lungo periodo della quota della falda, e valutazioni delle conseguenze dell'emungimento dei dreni sulla stabilità delle fondazioni circostanti.

Per finire, oltre al risanamento delle strutture in c.a. ammalorate, vanno infine menzionati il completamento dell'anello delle tribune storiche e la realizzazione di locali interrati, parcheggi, palestre, piscine, spogliatoi e altri locali di servizio in calcestruzzo armato con coperture ad elementi prefabbricati in c.a.p.

CONCLUSIONI

Chiudiamo qui la rassegna di una serie di opere che hanno riguardato la nostra esperienza comune con Bartelletti, certi di averne tralasciate tante altre e che ve ne siano ancora molte del tutto sfuggite. Ciò è naturale, considerando che la nostra memoria non può coprire l'intero arco temporale della sua attività, che solo la conoscenza e la collaborazione diretta favoriscono la puntuale esposizione e che lo scopo non è quello di esibire un elenco, a contenere il quale non basterebbero tutte le pagine di questo articolo. L'in-

tento era piuttosto di delineare, attraverso le opere apparse più significative, un'esperienza professionale e umana che produca interesse e dalla quale il lettore possa trarre beneficio.

D'altra parte è in questa prospettiva che scriviamo, prima allievi e poi collaboratori di Bartelletti; e il tempo in cui scriviamo, postumo di una vita novantenne, ha riservato a noi, più che ai colleghi della sua generazione, l'incombenza e il piacere di ricordarla.

In proposito ricordiamo che anche lui ci riconosceva ancora come studenti. Ce lo faceva intendere il "lei" con cui ha continuato a rivolgersi a noi, addolcito dall'apposizione confidenziale del nome proprio. Si trattava evidentemente di un lascito degli originari ruoli universitari e delle abitudini che più si radicano quanto più si perdono nel passato. Ma era anche un modo di dire che rammentava come il luogo "studio tecnico" fosse ancora prevalentemente "luogo di studio", di approfondimento e apprendistato.

Per lo stesso motivo, ma con atteggiamento antitetico rispetto ai suoi modi eleganti, Bartelletti fu per noi, fin dai primi giorni del passaggio dagli studi alla collaborazione, "il Capo", epiteto tramandato dai veterani e a lui ben noto, originariamente usato per individuarlo esclusivamente tra ex allievi e con i terzi più confidenziali, ma che nel tempo ha simpaticamente travalicato più volte i confini tra consuetudine e formalità. In Figura 37 è riportata l'immagine della targa che tutti noi collaboratori abbiamo realizzato per celebrare l'ottantesimo compleanno di Bartelletti.

Quanto qui esposto non può risultare scevro da un inevitabile consolidato legame affettivo, dalla riconoscenza professionale, dall'abitudine alla frequentazione. Risente inoltre di una stima che oltre agli aspetti prettamente tecnici si è appuntata ai modi della persona al tempo stesso semplici ed eleganti, al suo rigore morale senza traccia di moralismi, alla correttezza nei rapporti fondata su un istintivo riconoscimento della propria e altrui dignità, a quello che, in sintesi, rappresenta lo stile con cui una per-

sona attraversa il mondo in un tempo assegnato, determinando a suo modo e pure tra le immancabili imperfezioni, una scuola di vita.

Resta tuttavia ferma la sensazione che, per la sua naturale riservatezza, qualcosa dell'uomo ci sia ancora sfuggita; forse una particolare tensione "ad altiora" non sempre soddisfatta, un velato senso di incompiutezza, di decadimento dell'ideale nel reale.

Per questo motivo la definizione di ingegnere romantico, istintivamente azzardata nell'introduzione in attesa che sopravvenisse aggettivo più adatto, ci appare proprio in conclusione estremamente calzante. Non è infatti banalmente equivalente a quella di "uomo d'altri tempi", ma trova fondamento da un lato nel suo malcelato idealismo e nella profonda considerazione della natura e della storia, dall'altro nella naturale inclinazione verso una riflessione molto acuta quanto spesso spiccatamente individuale, che lo spingeva inevitabilmente fuori dal coro e verso un'introversione apparentemente austera, a tratti venata di stoica intima solitudine.

Era prevalentemente in quel suo mondo che concepiva le idee più originali e ne affinava la coerenza logica; era in quel mondo che, riposto ogni fare cattedratico, si riconosceva ancora profondamente studioso ed appassionatamente studente, come e più di noi. Le opere progettate e realizzate, infatti, siano esse nuove strutture o consolidamenti di esistenti, mostrano la flessibilità di una preparazione mai finalizzata alla semplice ripetizione produttiva e perennemente guidata da una sorprendente curiosità - ancor più viva e pressante in età avanzata e quasi disperatamente consapevole che ogni nuova opportunità di espressione potesse forse rivelarsi l'ultima - verso le nuove conoscenze e sperimentazioni.



Figura 37. La targa intitolata a Bartelletti per il suo ottantesimo compleanno.

APPENDICE

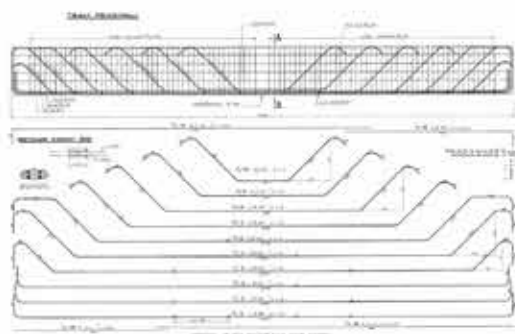
TAVOLA DEI PONTI: alcuni esempi nella vasta produzione dello Studio Bartelletti.



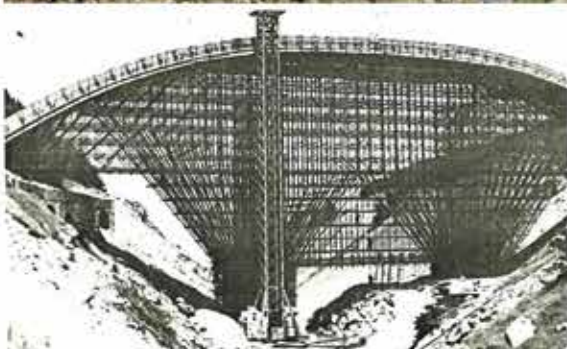
Ponte sul fiume Po, in località Bosco-Tosca, Pieve Porto Morone (PC) 1966-1968.



Cavalcaferrovia in sistema misto acciaio calcestruzzo a Cascina (PI) 1975.



Ponte ferroviario in c.a. sul canale emissario di Bientina, Fornacette (PI) sulla linea PI-FI 1977.



Ponte sull'Enza al passo del Lagastrello (MS) 1980.



Ponte-viadotto "delle Bocchette" per il superamento dell'Arno, la S.S. Tosco-Romagnola e la linea FS Pisa-Firenze, Pisa 1980-1983



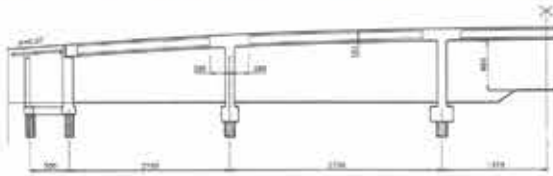
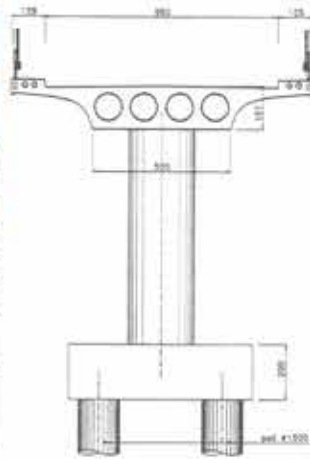
Ponte sul Torrente Versilia, Forte dei Marmi (LU) 1981-1982



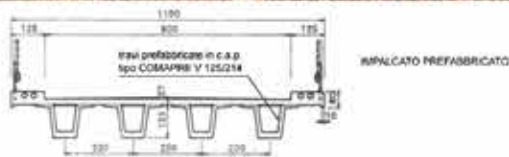
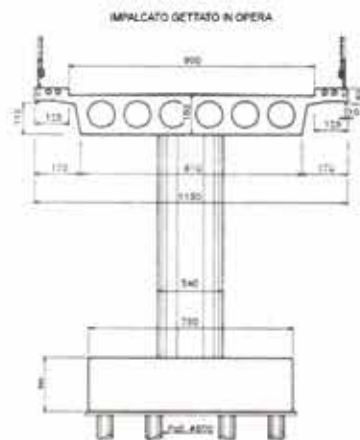
Ponte sul Torrente Zancana, Arcidosso (GR) 1984-1985 Ponte sul torrente Calore, San Mango (AV) 1985



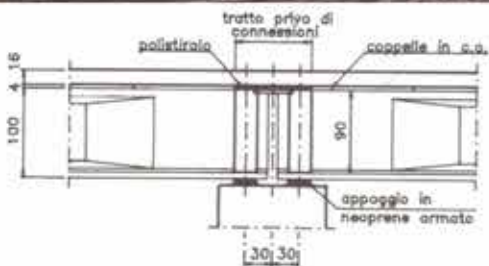
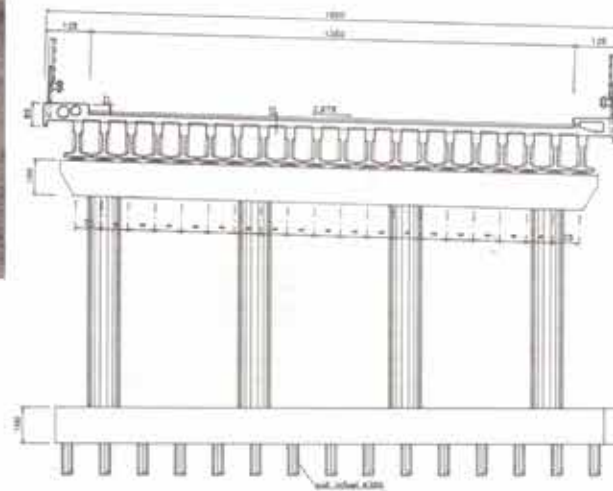
Ponte sul Serchio, Ponte a Moriano (LU) 1985



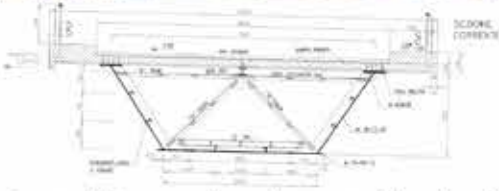
Cavalciferrovia sulla via Italica a Camaiore (LU) 1986-1987



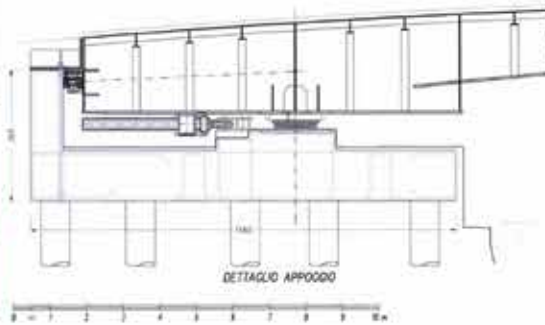
Cavalciferrovia sulla via Arginvecchio nel Comune di Camaiore (LU) 1986-1987



Cavalciferrovia sulla SS Aurelia in località Rondinella nel Comune di Viareggio (LU) 1988-1989



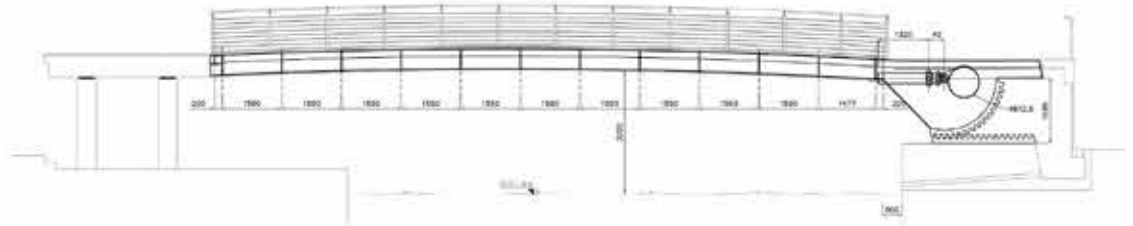
Ponte di Pescarella sul torrente Versilia, Pietrasanta (LU) 1998



Ponte girevole nel porto di Livorno (LI) 2002



Cavalcavia Arnaccio-Cascina (PI) 2002-2003



Passerella ciclo-pedonale sul canale Burlamacca a Viareggio (LU) 2004



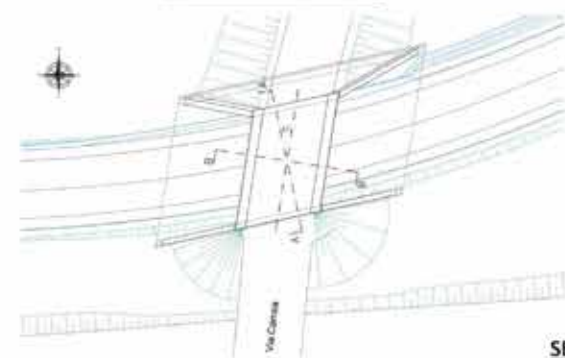
Viadotto lotto 13 della S.G.C. FI-PI-LI per il collegamento alla S.S. 1 con superamento delle linee FS Pisa Aeroporto e Livorno-Genova in comune di Pisa - 2005-2006



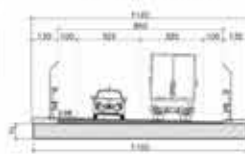
Progetto preliminare del nuovo ponte sull'Arno a Montelupo Fiorentino (FI) 2010

Ponte sul Serchio a Castelnuovo (LU) 2010

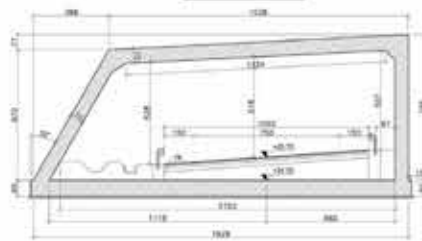
PLANIMETRIA GENERALE



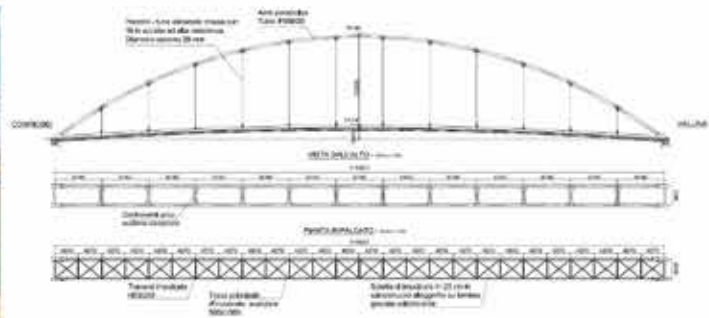
SEZIONE B-B



SEZIONE A-A



Nuova viabilità Empoli FI-PI-LI: sottopasso di via Carraia 2018-2019



Passerella ciclopedonale di Compiobbi-Vallina, comune di Bagno a Ripoli (FI) (in fase di realizzazione)



Progetto del nuovo cavalcavia di Querceta nel comune di Seravezza (LU) 2021

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Bartelletti R., Berardi G., Caroti L., Finzi L., Jamiolkowski M. (1988). Stabilization of the Leaning Tower of Pisa. XIII Congresso IABSE, Helsinki, 1988.
- [2] Bartelletti R. (1990). I Lavori di ampliamento e restauro dello stadio Nervi a Firenze. Ingegneri, pp. 6-10, Lucca, 1990.
- [3] Bartelletti R. (1990). Florence Municipal Stadium (Italy). IABSE Structures, Vo. 14, Issue C52: Football Stadiums in Italy. IABSE Periodica 2/1990, Zurich.
- [4] Bartelletti R., Pascucci M., Maggio B. (1993) Il nuovo ponte Quartieri sul fiume Magra presso Aulla. Giornate AICAP '93 - Pisa.
- [5] Bartelletti R., Pascucci M., Maggio B. (1993). Tre cavalcaferrovie sulla linea Pisa-Genova tra le stazioni di Viareggio e Pietrasanta. Giornate AICAP '93 - Pisa.
- [6] Bartelletti R., Finzi L., Sanpaolesi L. (1993). Investigation on the masonry of the Leaning Tower of Pisa. IABSE Symposium, Roma, 1993.
- [7] Bartelletti R., Brancaleoni F., Caramelli S., Diana G., Sanpaolesi L. (1993). Il Progetto del Ponte Est per l'attraversamento del Great Belt: il ruolo del gruppo di progettazione italiano. XIV Congresso CTA, Viareggio, 1993.
- [8] Bartelletti R., Pascucci M. (1999). Un ponte metallico a travata ad asse fortemente curvo. XVII Congresso CTA, Napoli 1999.
- [9] Bartelletti R., Pascucci M. (1999). Il nuovo ponte tranviario sull'Arno a Firenze. XVII Congresso CTA, Napoli 1999.
- [10] Bartelletti R., Carrara G. (1999). Criteri generali di progettazione nell'edilizia ospedaliera - Tre esempi di ospedali con strutture di cemento armato. Giornate AICAP '99.
- [11] Bartelletti R., Royer G., Salvatore W. (2001). Crossing the stays of cable-stayed bridges. IABSE Conference on Cable-Supported Bridges, Seul, Korea.
- [12] Bartelletti R. (2003). Un nuovo ponte a Firenze - La sfida della leggerezza / A New Bridge in Florence. Looking for Lightness - Rassegna (Il mondo dei ponti) - N. 79, pp. 44-51.
- [13] Bartelletti R., Viviani, M. (2003). Nuovo ponte girevole nel porto di Livorno, Atti XIX Congresso CTA.
- [14] Bartelletti, R. Viviani, M. (2004). Nuovo ponte girevole nel porto di Livorno, Costruzioni Metalliche, vol. LVI, n. Marzo-Aprile 2004, pp. 30-41.
- [15] Bartelletti R., Heiniger P., Viggiani C., (2004). LA TORRE SALVATA - Una Storia per Immagini - Edizione bilingue - Pacini Editore, Pisa 2004.
- [16] Bartelletti R. et al. (2004). Catalogo della mostra "I Libri della Scienza - la collezione ottocentesca della Biblioteca di Ingegneria", Pisa, La Limonaia di Palazzo Ruschi, Vicolo del Ruschi, 15-28 aprile 2004. A cura di Claudia Lamberti - Servizio tipografico dell'Università di Pisa 2004.
- [17] Bartelletti, R., Pascucci, M., Viviani, M. (2005) Nuova passerella mobile ciclo-pedonale sul canale Burlamacca a Viareggio, atti XX Congresso CTA, Ischia 2005.
- [18] Bartelletti R, De Falco A., (2009). La Toscana che va. Mobilità, Infrastrutture e Logistica (Dringoli, M. Ed), Cap. 9 - "I Ponti", pp.109-225, Pacini Editore.
- [19] Bartelletti R., De Falco A., (2010). San Pierino. Una bella storia. Il restauro della Chiesa di San Pietro in Vincoli in Pisa, (Armani A. Ed) -, "Il Consolidamento", pp. 161-187, C.L.D. S.r.l.
- [20] Gucci N., De Falco A. (2010). Il dissesto di un transetto della Cattedrale di Lucca: studio multidisciplinare, progetto di restauro e realizzazione di un sostegno attivo per la sua attuazione. Bollettino Ingegneri n. 3.
- [21] Bartelletti R., Sanpaolesi L., Squeglia N. (2011). La torre pendente di Pisa 10 anni dopo il completamento dei lavori di stabilizzazione. Giornate AICAP '11 - pp.45-52.

RINGRAZIAMENTI

Noi autori ci siamo assunti l'onere di scrivere questa memoria, ma le opere che abbiamo descritto sono il frutto delle competenze e del lavoro di decine di professionisti che hanno collaborato nel corso degli anni nello Studio Bartelletti.

Rivolgiamo un sentito ringraziamento a Liana Carraro per averci gentilmente concesso l'uso della sua tesi di laurea, dalla quale abbiamo tratto alcuni dei concetti riportati in questa memoria.

Un ringraziamento particolare va a Marco Pascucci, Cecilia Marchetti ed Arcangelo Chisena che stanno portando avanti le attività dello "Studio Bartelletti", per avere gentilmente messo a disposizione la documentazione necessaria estratta dal prezioso archivio del Professore, nonché per le attività di ricerca e consulenza fornite in questo lavoro.

Si riporta qui la nota di ringraziamento agli Autori volute da Mario Bartelletti, figlio di Raffaello:

"Ho conosciuto l'ing. Marco Pascucci quando ero ancora un bambino e molti altri collaboratori dello Studio - fra cui gli autori di questo articolo - in anni poco successivi. Fugure divenute presto familiari, spesso incrociate nello Studio di mio padre, accomunate dall'evidente ammirazione nei suoi confronti, ma anche dagli attestati di stima - difficile a esser concessa e ancor di più a esser manifestata - che talora egli lasciava trapelare nei loro riguardi. Questa sorta di familiarità un po' distratta si trasforma oggi in una profonda gratitudine, perché da queste pagine traspaiono la stima professionale e l'ammirazione per il maestro, ma ancor di più quell'affetto umano senza il quale queste stesse pagine non sarebbero così ben riuscite.

Grazie Anna, Maria, Tino"

Mario Bartelletti