

Una macchina di legno nel Teatro Comunale di Bologna

La Meccanica è Arte, per la quale si cerca di superare le cose maggiori con le minori, e col mezzo di poca forza muovere cose di molto peso.

Ferdinando Galli Bibiena, Direzioni Della Prospettiva Teorica Corrispondenti a quelle dell'Architettura, Bologna 1732.

INTRODUZIONE - Il ciclo di studi del Dottorato di ricerca in Disegno e Rilievo del Patrimonio Edilizio, che ho avuto la fortuna di poter frequentare, ha trovato il suo compimento nella redazione di una tesi dedicata al rilievo del meccanismo ligneo di sollevamento della platea del Teatro Comunale di Bologna.

Come spesso accade per la maggior parte di monumenti italiani, del meccanismo non esistono disegni o fonti archivistiche che lo descrivono se non ad eccezione di poche informazioni frammentarie che riportano la data di costruzione e il nome del progettista.

La passione per il disegno e per il rilievo mi hanno condotto ad analizzare "la fabbrica-teatro" di Antonio Galli Bibiena, architetto e scenografo bolognese del settecento, attraverso uno studio analitico e grafico sul funzionamento del meccanismo, perfettamente conservato ma fermo da più di un secolo.

Il rilievo delle sue componenti principali, disegnate in dettaglio al fine di comprendere la tecnologia di costruzione impiegata, ha impiegato una serie di tecniche di misura e rappresentazione e ha prodotto circa 30 elaborati grafici complessivi e di dettaglio che hanno consentito lo studio del cinematismo che caratterizza il meccanismo nel passaggio da una configurazione all'altra.



Giuseppe Amoroso. Nato a Brindisi nel 1970, si laurea in Ingegneria Civile-Edile presso l'Università di Bologna. Dal 2001 è Dottore di Ricerca in Disegno e Rilievo del Patrimonio Edilizio. E' ricercatore confermato presso la Facoltà di Architettura dove è coordinatore delle Relazioni Internazionali. Partecipa all'International Network for Traditional Building Arts & Urbanism, Prince's Foundation, London. Coordinatore delle Summer School Internazionali in Architettura Rural Landscape & Architectural Quality (2005) e Thinking to the City. Drawings and Projects for a New Urbanism (2006). Si occupa di patrimonio architettonico, recupero dei centri storici e tecnologie digitali. giuseppe.amoruso@unibo.it

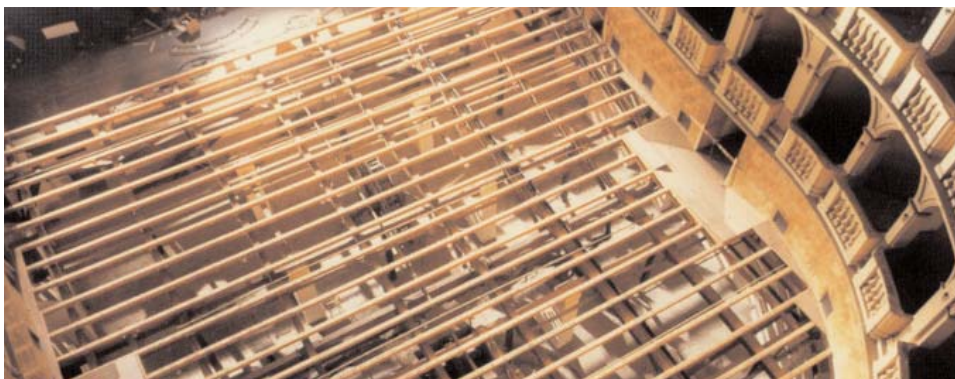
Lo straordinario strumento musicale che è il teatro comunale di Bologna, progettato dall'architetto e scenografo Antonio Galli Bibiena¹, conserva al suo interno un meccanismo ligneo collocato sotto la platea. Tale apparato fu progettato da Filippo Ferrari nei primi anni del 1800 e entrò in funzione nel 1820 in occasione dei radicali interventi di adeguamento tecnico cui fu sottoposto il teatro in concorrenza con il nuovo Teatro del Corso aperto a Bologna nel 1805. L'apparato meccanico consentiva il sollevamento della platea al livello del palcoscenico e nasceva dall'esigenza di risolvere la continuità del piano di calpestabile fra sala e palcoscenico, molto utile in occasione dei veglioni e degli eventi speciali, quali il carnevale; in tale maniera il teatro "ottenne" la copertura rial-



Figura 1. La struttura lignea della platea messa a nudo durante i lavori di restauro del 1980-81.



Nota 1. Antonio Galli Bibiena (Parma, 1697 - Milano, 1774), figlio di Ferdinando, si trasferì, molto giovane, a Vienna ove visse per circa trent'anni operando, come scenografo, architetto, decoratore e quadraturista. Fu artefice della costruzione e ammodernamento di numerosi teatri tra cui l'Hoftheater di Vienna, il teatro dei Rinnovati di Siena e il teatro Scientifico di Mantova. Trasferitosi a Bologna, nel '55 fu eletto Accademico Clementino; qui fu impegnato a disegnare scene per numerosi teatri emiliani, attivo anche come pittore e quadraturista in sale, logge e cortili di case borghesi e gentilizie. Qui portò a parziale compimento il Teatro Comunale e nel '61 si occupò dell'interno del teatro di Lugo.



zata e più agevole attrezzature. Riguardo al teatro Comunale² esistono copiose fonti bibliografiche che consentono di ricostruire le vivaci vicende che ne hanno accompagnato la costruzione e la sua evoluzione, non accade altrettanto per l'apparato, oggetto di tale studio, che risulta completamente sconosciuto e mai studiato.

Nell'inventario che seguì i citati lavori di inizio 1800 è riportata la presenza del nuovo apparato meccanico che d'ora in poi definiremo "meccanismo" in coerenza alle definizioni in uso nella letteratura scientifica. A tal proposito occorre precisare che per "macchina" si intende un dispositivo che ha la duplice funzione di trasmettere movimento e di trasmettere forza motrice. Perciò gli elementi che compongono una macchina sono messi in relazione dalla loro possibilità di movimento in seguito all'applicazione di determinate forze.

E' maggiormente lecito parlare di "meccanismo" poiché la ricerca prende in esame gli organi da un punto di vista prevalentemente geometrico e cinematico tralasciando le considerazioni inerenti la trasformazione delle forze e la trasformazione di energia.

IL MECCANISMO DI SOLLEVAMENTO DELLA PLATEA - L'apparato ligneo studiato può essere descritto come un meccanismo composto da macchine di sollevamento e organi flessibili.

Tra le macchine di sollevamento possiamo citare l'argano, le leve, le ruote e il paranco che dettaglieremo in seguito, mentre come organo flessibile, nel caso in oggetto, parliamo di una fune di canapa.

Gli organi flessibili sono organi meccanici che hanno la capacità di reagire soltanto a sollecitazioni di trazione e per tale motivo sono largamente impiegati nelle macchine di sollevamento e di trasporto.

Nota 2. Sull'area occupata dalla magnificente "Domus Area" della famiglia Bentivoglio, attuale Piazza Verdi, fu eretto nel 1763 il Teatro Comunale di Bologna. Il grande teatro della città nacque sulle rovine dello sfarzoso palazzo Bentivoglio distrutto durante una rivolta popolare tempo addietro. La decisione di costruire il teatro sull'antico guasto Bentivolesco spettò ai promotori del Reggimento che scelsero Antonio Galli Bibiena, ingegnere teatrale e scenografo. Per una decina di anni progettista e progetto furono vittime di una colorita campagna denigratoria che portarono all'esibizione di un modello ligneo del teatro esposto pubblicamente alle critiche manifestate dai maggiori esponenti dell'architettura e della scienza. Le opposizioni più accese erano rivolte alla "Nuova Forma" del teatro e all'utilizzo della muratura per le strutture principali. La platea a campana risultava una soluzione non funzionale riguardo al comportamento acustico della sala. La scienza moderna dimostrerà essere accuse infondate e la biasimata pianta a campana sarà poi riutilizzata anche nell'Ottocento come nel caso del Teatro Aleksandrinsky di Carlo Rossi a San Pietroburgo. Antonio Galli Bibiena si difese dalle accuse giustificando la soluzione della muratura con l'esigenza di avere strutture solide, durature e resistenti al fuoco pericolo principale dei teatri in legno. Riguardo la forma a campana il progettista assicurò che risultava "di totale gradimento ai musicisti, e agli spettatori" e la riutilizzò più tardi nel Teatro Scientifico di Mantova.

Figura 2. Attraverso la struttura ligneo della platea messa a nudo, si intravede il complesso meccanismo di sollevamento oggetto di tale ricerca.



Figura 3. Primo piano della ruota di trasmissione, che è parte fondamentale del meccanismo di sollevamento. Attraverso il solaio messo a nudo si intravede la cavea oggetto di tante polemiche prima della costruzione del teatro.

Nota 3. Ogni trefolo è composto da più fili elementari di canapa, avvolti ad elica attorno ad un'anima centrale in fibra tessile. La fune a trefoli a sua volta è formata da più trefoli avvolti ad elica.

In questa categoria troviamo le funi, le catene e le cinghie.

Il meccanismo presente all'interno del teatro è dotato di funi realizzate in fibra naturale (canapa) e sono riconoscibili funi semplici e funi a trefoli³ come conseguenza delle sollecitazioni applicate nei differenti organi.

E' possibile capire il funzionamento di tale apparato soltanto scomponendolo nei

suoi elementi principali che richiedono di essere analizzati singolarmente:

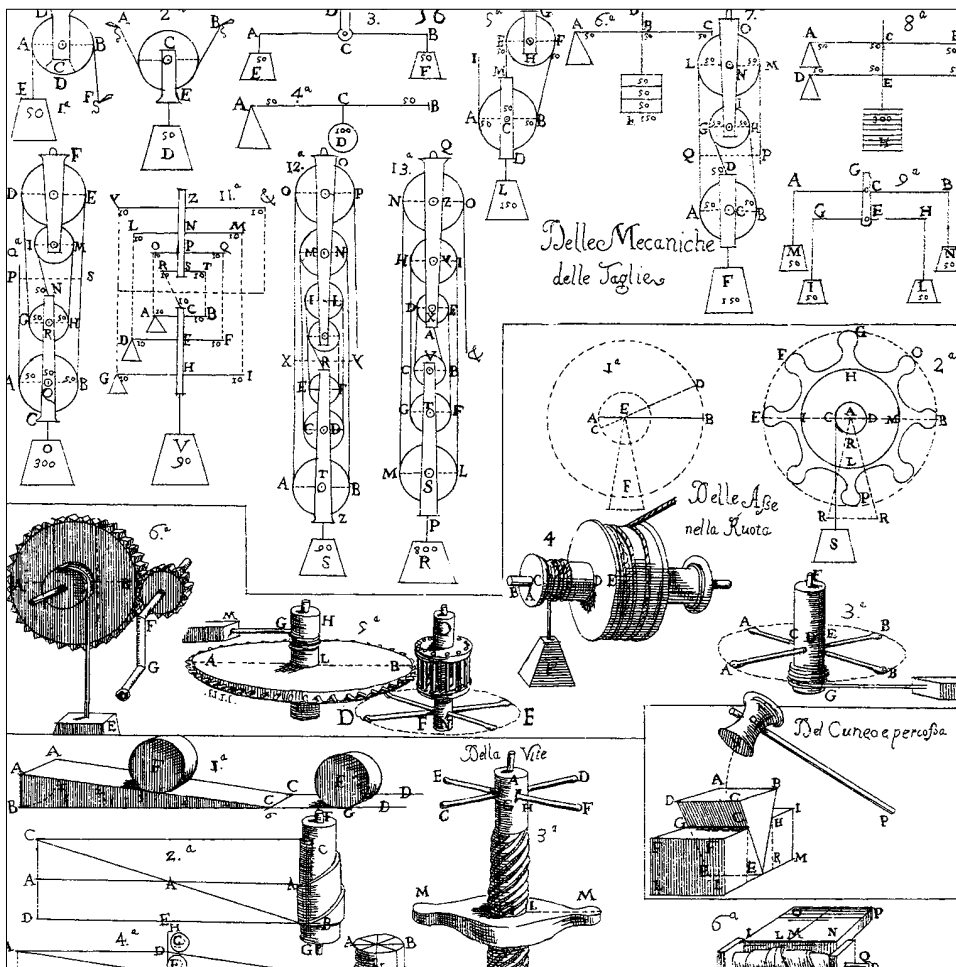
- 1) L'argano a due coppie di pale;
- 2) La ruota oziosa;
- 3) I gruppi di pulegge;
- 4) Le coppie di leve di sollevamento;
- 5) Le capriate vincolate al solaio ligneo della platea.

L'ARGANO - Nel meccanismo di sollevamento l'argano svolge il ruolo di dare moto all'organo flessibile traente qui rappresentato da robuste funi di canapa che si avvolgono su un apposito tamburo ligneo snello e rastremato in sommità.



Figura 4. Tavola raffigurante gli strumenti propri della "Mecanica, o Arte di muovere e trasportar Pesi" secondo Ferdinando Galli Bibiena, Direzioni Della Prospettiva Teorica Corrispondenti a quelle dell'Architettura, pubblicato a Bologna nel 1732.

Figura 5. Vista generale dell'argano e del suo vano circolare di alloggiamento.



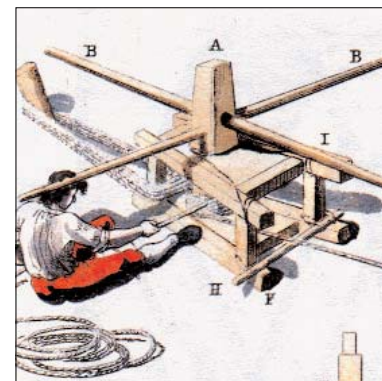


Figura 6. Disegno acquerellato che mostra "i modi di armare li tiri colle traglie, e queste di varie maniere e conoscerne le loro rispettive forze". Giuseppe Valadier, *L'architettura pratica dettata nella scuola e cattedra dell'insigne Accademia di S.Luca*, Roma 1832.

Figura 7. Dettaglio dell'accoppiamento trave e asse di rotazione; un ingrossamento della trave permette di alloggiare l'asse. Sono visibili il gancio che vincola la fune all'argano e l'attacco del tirante d'acciaio che sostiene tutto il gruppo.

Il moto viene innescato agendo sulle due coppie di pale che passano attraverso il tamburo in corrispondenza di alcuni fori praticati nel punto di sezione massima. L'argano risulta alloggiato tra l'intradosso del solaio e un apposito vaso a geometria circolare, interrato per la profondità necessaria a disporre di tre gradini; in sommità la rotazione è consentita dalla presenza di una trave di appoggio, posta all'intradosso dell'impalcato, sorretta da due puntoni di legno ed un tirante d'acciaio.

La fune è ancorata in sommità dell'asse tramite un gancio di metallo e all'atto della rotazione si avvolge attorno all'asse dell'argano.

LA RUOTA OZIOSA - La ruota oziosa occupa una posizione centrale all'interno del meccanismo di sollevamento e assolve ad una mansione delicata ricevendo il moto dall'argano tramite una fune e ripartendolo equamente ai due gruppi di pulegge che simmetricamente ricevono la trazione.

La ruota è composta da una doppia corona che ne costituisce la struttura di ricezione del moto e da una puleggia - ruota che viene utilizzata per ripartire e trasmettere il moto alle pulegge.

Due treppiedi costituiscono i supporti della ruota e all'interno della testa consentono l'alloggiamento dell'asse.

La ruota è parzialmente interrata attraverso un vano di alloggiamento.



Figura 8. Vista della ruota oziosa, del suo parziale alloggiamento in un vano interrato (accorgimento necessario per evitare interferenze con l'intradosso dell'impalcato di platea) e del supporto che ne consente la rotazione.

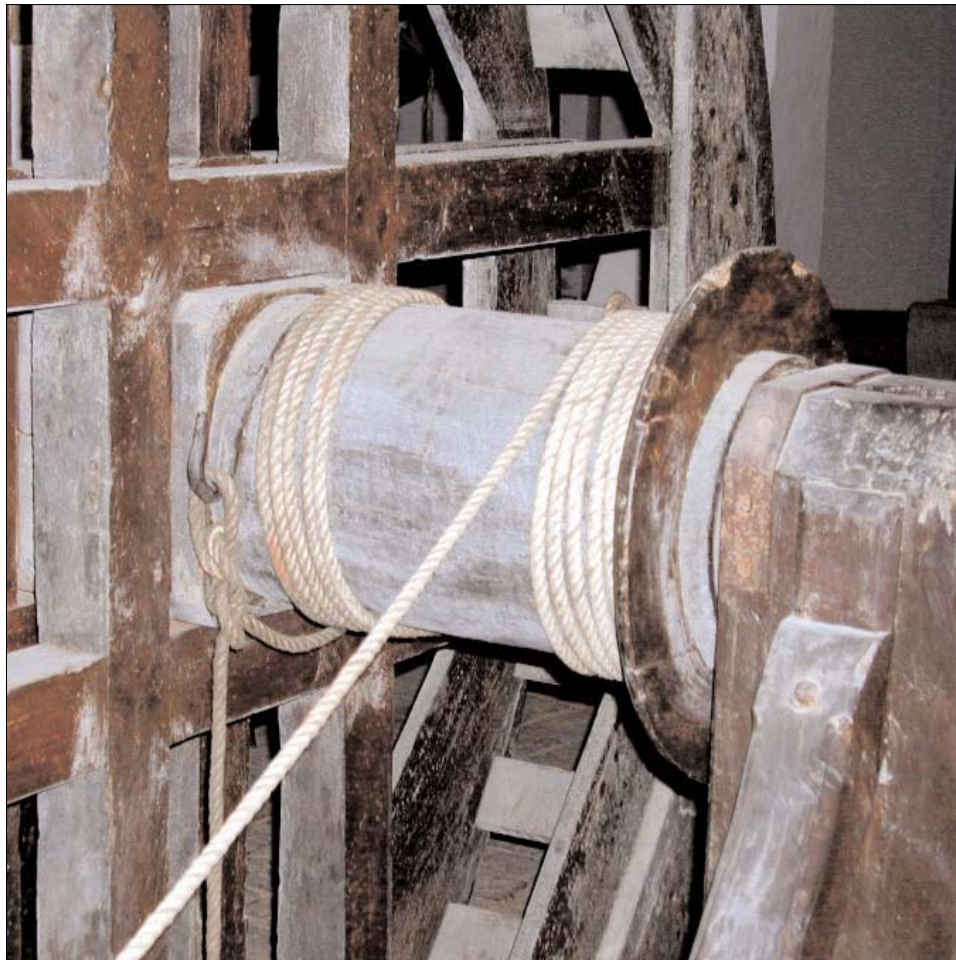


Figura 9. Dettaglio della puleggia che ripartisce e trasmette la trazione, tramite apposite funi di canapa, ai gruppi di pulegge collegati alle leve di sollevamento.

I GRUPPI DI PULEGGE - Due gruppi di pulegge assolvono il compito di ricevere il moto e la trazione meccanica e di raccogliere a se le estremità di due coppie di leve attraverso un trefolo di canapa agganciato alle estremità delle leve e avvolto sulle pulegge.

Un primo gruppo di pulegge è alloggiato in un vano adiacente all'argano mentre l'altro è posto in posizione simmetrica rispetto alla ruota oziosa e si trova subito ridossato alla muratura dal lato del proscenio.

I vani sono di muratura con bordo di mattoni disposti di coltello e l'asse di rotazione è realizzato tramite accoppiamento di elementi metallici annegati nella muratura.

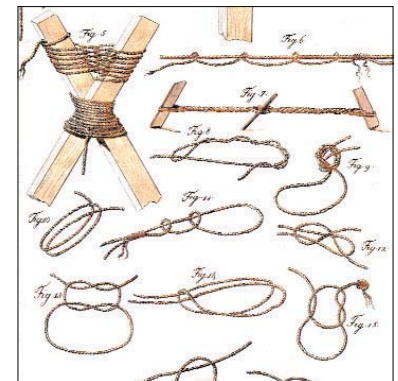


Figura 11. Vista del gruppo di pulegge con i roccetti di diametro differente; si può notare la fune semplice ancorata al roccetto di diametro maggiore e le funi a trefoli agganciate ai roccetti di diametro minore.

Figura 12. Dettaglio dell'accoppiamento metallico che consente la rotazione dell'asse del gruppo di pulegge.

Figura 13. Il disegno acquerellato mostra che è necessario "conoscere il modo delle imbragature, delle maniere di fermarle con tante qualità di nodi, loro nomi ed usi". Giuseppe Valadier, L'architettura pratica dettata nella scuola e cattedra dell'insigne Accademia di S.Luca, Roma 1832.

LE LEVE DI SOLLEVAMENTO - Due coppie di leve recano serrata una fune ad una estremità e in virtù di ciò sono richiamate a terra dalle pulegge che hanno ricevuto la trazione. Le leve sono montate su supporti di legno con contrafforti asimmetrici in conseguenza delle sollecitazioni che insorgono fuori asse; ciò è dovuto al fatto che la leva risulta leggermente ruotata verso il gruppo di pulegge. Il gruppo leva - supporto è appoggiato direttamente su un basamento di legno. All'estremità della leva si trova incernierata una biella che funge da organo di trasmissione del moto e permette la traslazione rigida della capriata soprastante. Gli estremi della biella descrivono traiettorie prestabilite ovvero la leva e la capriata ad essa collegate assumono posizioni successive prefissate.



Figura 14. Vista della leva di sollevamento in configurazione di riposo ossia con il braccio lungo sollevato. A differenza dell'altra coppia di leve il supporto non presenta contrafforti ed è alloggiato in un vano incassato nel pavimento.



Figura 15. Dettaglio del braccio corto della leva e dell'accoppiamento che consente all'asse di ruotare. All'estremità del braccio è incernierata una biella che ha il compito di trasmettere il moto rigidamente alla capriata.

LE CAPRIATE - Attraverso la biella che è incernierata sia alla leva che all'intradosso della capriata il moto viene trasmesso rigidamente a tutta la soprastante orditura lignea.

Il meccanismo è composto da tre capriate di grosse dimensioni, di cui due solidali con il gruppo leva - biella (e quindi mobili) ed una che serve ad assicurare il sostegno al solaio nella configurazione a riposo.

Le capriate lignee corrono trasversalmente al sottoplatea, che di fatto è appoggiato su di esse⁴, e sono rinforzate da diagonali sghembi che evitano l'insorgere di fenomeni di instabilità dell'equilibrio.



Figura 16. Vista della capriata e della leva intermedia.

Figura 17. Dettaglio delle giaciture sfalsate della leva e della capriata.

Nota 4. Attualmente l'impalcato della platea è stato vincolato ai bordi per rispondere alle normative di sicurezza dei locali pubblici; il progetto iniziale prevedeva una platea fluttuante appoggiata alle sottostanti capriate lignee e libera di traslare sino ad ottenere la perfetta complanarità tra piano platea e palcoscenico.



IL SOLAIO DELLA PLATEA - Il solaio della platea è composto da una doppia orditura con travi longitudinali e travetti trasversali e all'estradosso sono presenti due strati sovrapposti realizzati con un tavolato di legno.

All'intradosso delle travi primarie sono incernierati tre ordini di ometti ad altezza variabile, decrescente dal proscenio verso il fondo della sala, che danno sostegno al solaio al termine del sollevamento e realizzano l'orizzontalità del piano di calpestio.

All'inizio del cinematismo di sollevamento tali ometti ruotano sino a raggiungere la posizione verticale e poi si appoggiano sulle sommità delle travi trasversali che sono affogate in testa dei pilastri di muratura.

LA TECNOLOGIA DI COSTRUZIONE - Il meccanismo di sollevamento della platea è realizzato interamente in legno ad eccezione degli organi che servono a unire e a congiungere i legnami fra loro. Per tali elementi di collegamento (chiodi, caviglie, uncini, viti, chiavarde e staffe) è utilizzato un materiale sussidiario come il ferro.

Nelle pagine che seguono una rassegna di immagini e disegni evidenzia la tipicità di tale tecnologia di costruzione che veniva utilizzata sovente per risolvere questioni di "Meccanica".



Figura 18. Dettaglio del solaio con evidenziate le due orditure di travi, il tamponamento con il tavolato e il pilastrino rompitratta; è anche visibile l'ometto incernierato all'intradosso della trave longitudinale che all'occorrenza ruota sino alla posizione verticale.

Figura 19. Vista dell'intradosso del solaio della platea il particolare del sistema articolato leva, capriata e solaio della platea direttamente appoggiato.

Figura 20. Esempio di collegamento dei correnti della leva tramite chiavarde e staffe.

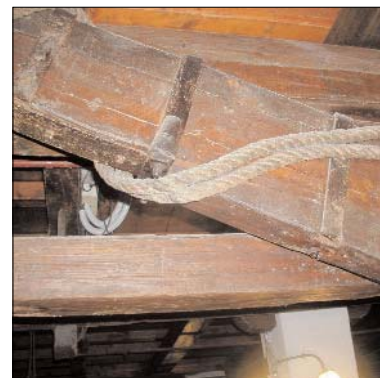




Figura 21. Gli organi di collegamento che caratterizzano il meccanismo ligneo: chiodi di differenti forme, caviglie semplici, a spina e a vite, staffe uncinati e punte da trave.

Figura 22. Dettaglio del collegamento trave ometto tramite cerniera metallica

Figura 23. Vista del sistema articolato leva-capriata con in primo piano il supporto asimmetrico, la biella e la parte terminale della capriata.

IL RILIEVO DEL MECCANISMO - I duecento cinquantanni di vita del teatro hanno visto innumerevoli trasformazioni nelle strutture, negli impianti e negli apparati decorativi.

Spesso gli interventi sono stati motivati da situazioni di adeguamento normativo *tout court* che hanno pregiudicato la funzionalità e l'utilizzo di altre parti o componenti del teatro.

E' il caso del meccanismo ligneo che è sempre stato oggetto di cure ma che poi è stato reso inutilizzabile al momento della posa degli impianti antincendio che ora impediscono il sollevamento della platea.

Al momento dell'impostazione di tale studio sono state messe a fuoco le finalità delle azioni di rilevamento architettonico che doveva costituire la parte centrale della ricerca. Questo momento preliminare solitamente è molto delicato per i suoi risvolti pratici e in relazione alla previsione dei costi e dei tempi necessari per completare le attività di rilievo.

Il rilievo effettuato è stato finalizzato a fornire quei grafici necessari per la completa conoscenza delle strutture e delle macchine che compongono il meccanismo. Tale esigenza risultava pressante anche perché i disegni originali del progettista Filippo Ferrari andarono perduti nell'incendio del 1931 e perciò non esiste una documentazione grafica a riguardo.

A tale finalità si associa la volontà da parte della Fondazione Teatro Comunale e del Comune di Bologna di condurre dei lavori di restauro per ridare vita e movimento ad un meccanismo divenuto ormai oggetto da museo.

Da queste determinazioni sono scaturite le prime domande e risposte sul come procedere per il rilievo consci di quali dovevano essere i riferimenti certi e invece quali margini andavano lasciati all'interpretazione. Entro questi limiti il rilievo stesso nasce e si conclude, alimentandosi della misura che agisce in manie-

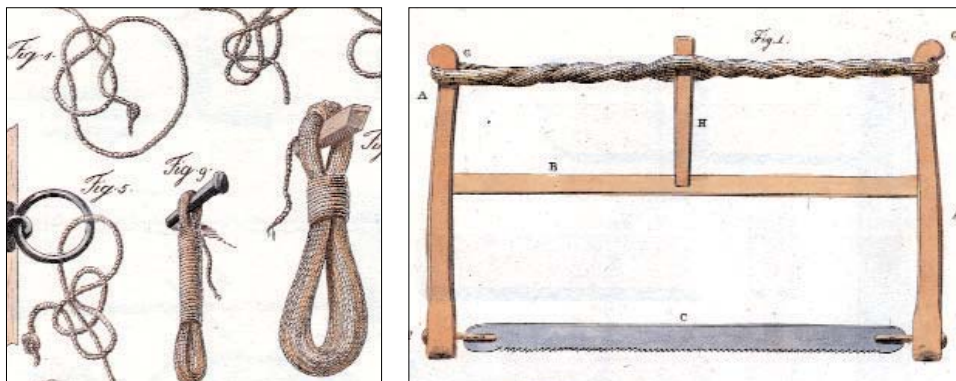


Figura 24. Disegno acquerellato che mostra "altri nodi e legature, che servono sempre alle armature, tiri ed altre meccaniche operazioni". Viene anche annotato "il modo di rappezzare un canapo se la disgrazia portasse che in una qualche lavorazione si spezzasse, giacché un canapo che costa qualche centinaio di scudi, dispiacerebbe di perderlo". Giuseppe Valadier, *L'architettura pratica dettata nella scuola e cattedra dell'insigne Accademia di S.Luca*, Roma 1832.

ra fondamentale attraverso gli strumenti dedicati e le lacune introdotte attraverso i metodi usati, variabili che comunque non devono intervenire sul risultato finale e compromettere l'attendibilità delle risposte fornite.

Le attività previste per il rilievo architettonico si sviluppano secondo un procedimento per fasi operative, ciascuna caratterizzata da strumenti, tecniche e obiettivi specifici.

La complessità del meccanismo ligneo ha indotto una paziente indagine preliminare del singolare contesto di inserimento e degli oggetti che lo compongono e lo caratterizzano. La necessità e la volontà di addentrarsi nella comprensione di tutti gli aspetti che definiscono l'apparato meccanico si sono manifestate sin dall'inizio attraverso frequenti sopralluoghi durante i quali sono state messe a fuoco le finalità, gli obiettivi della successiva rappresentazione grafica, alcune ipotesi preliminari necessarie per individuare i caratteri peculiari del manufatto.

L'esperienza di altri rilievi condotti in passato ha evidenziato che è importante avere le idee chiare sin dall'inizio; occorre conoscere prima ciò che si deve rappresentare, ragionare non solo in termini di singoli elaborati ma giungere alla rappresentazione complessiva degli oggetti contenuti in uno spazio tridimensionale. Era opportuno conoscere l'opera nella sua globalità, dagli aspetti geometrici e formali a quelli costruttivi e materici.

L'assenza di qualsiasi documentazione d'archivio inerente l'opera da rilevare ha imposto un'approfondita indagine fotografica iniziale con l'obiettivo di definire subito un quadro conoscitivo del manufatto.

La ricognizione fotografica di dettaglio e d'insieme ha consentito una prima valutazione degli aspetti dimensionali, delle peculiarità geometriche e meccaniche. Successivamente i fotogrammi hanno permesso di effettuare una pro-

Figura 25. Disegno degli attrezzi necessari per "squadre le travi per la formazione delle incavallature in varie guise comode". Giuseppe Valadier, *L'architettura pratica dettata nella scuola e cattedra dell'insigne Accademia di S.Luca*, Roma 1832.

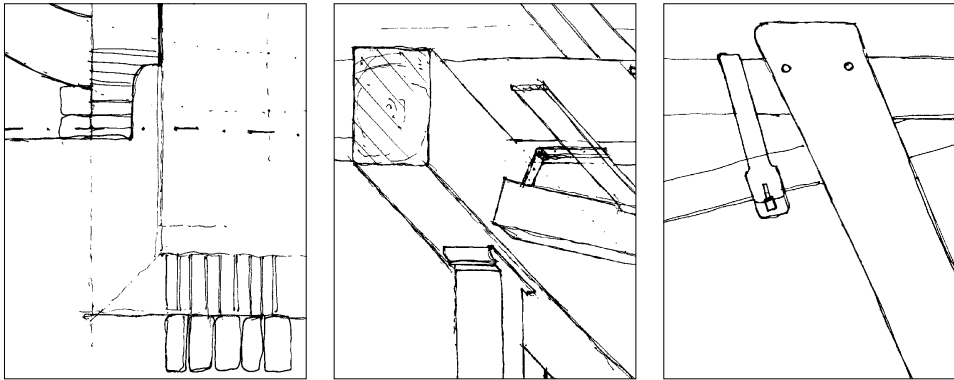


Figura 26, 27 e 28. Eidotipi di rilievo realizzati a penna durante le fasi preliminari alla misurazione. Oltre alle tradizionali viste in proiezione ortogonale sono state impiegate le consuete viste in assonometria ortogonale isometrica, sezioni in assonometria obliqua e approfondimenti degli elementi di dettaglio.

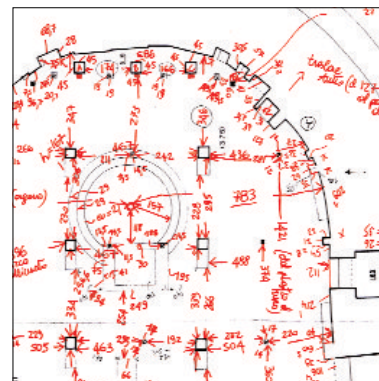
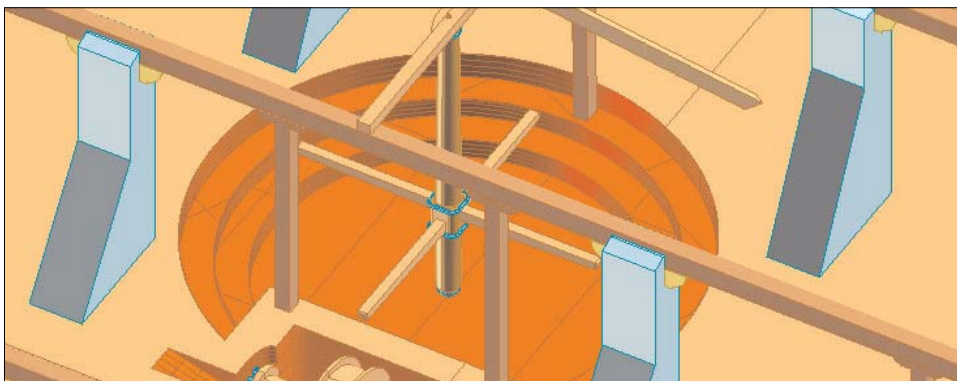
grammazione del lavoro di rilievo mettendo a fuoco la tipologia e il numero delle attrezzature, i tempi e gli elaborati grafici da realizzare.

Nel rilievo architettonico la fase di misurazione è preceduta dal rilevamento a vista che svolge la funzione, ben precisa, di supporto e integrazione per tutte le attività di rilievo. L'esperienza dell'osservazione diretta insegna a rapportarsi virtuosamente con gli oggetti costruiti e di apprendere le tecniche adoperate per la sua costruzione, sempre singolare rispetto ai manuali tecnici.

Il disegno dal vero costituisce una forma di espressione grafica davvero efficace e diretta per descrivere in sintesi la realtà ed anticipare, sul piano del foglio di carta, le peculiarità geometriche dello spazio reale.

In questa fase occorre educare l'occhio (o meglio il cervello) a trascrivere per mezzo di pochi segni la realtà così come ci appare; a questo scopo ci aiutano le potenzialità dei metodi di rappresentazione che vengono utilizzati in modo integrato. A partire dall'analisi globale, fotografica e a vista, non si può fare a meno anche di una esaustiva rassegna di schizzi di sintesi che rappresentano i punti salienti dei singoli oggetti senza alterarne la configurazione o l'essenza geometrica. Il rilievo a vista si sviluppa direttamente sul posto impiegando "strumenti semplici" come la carta e le matite. Non sono previste misure o procedimenti metrici ma dall'osservazione si passa al proporzionamento a vista secondo griglie geometriche e il riconoscimento di assialità e simmetrie. L'esperienza ha dimostrato che questa fase è essenziale nel processo di rilievo e non è sostituibile con altre operazioni "automatiche" o indirette. Gli eidotipi, prodotti in quantità sufficiente a descrivere con completezza gli oggetti osservati, sono successivamente utilizzati come base grafica per la trascrizione di quote, misure o commenti critici.

La produzione di eidotipi dal vero si è sviluppata sino alla restituzione grafica



del rilievo, risolvendo graficamente tutte le situazioni di ambiguità o complessità geometrica. Tali semplici elaborati sono opportunamente catalogati e archiviati fanno parte della documentazione di rilievo e possono essere utilizzati per successive restituzioni di dettaglio.

Il meccanismo ligneo è stato analizzato attraverso misure riferite ad una selezione di elementi significativi che derivano dalle finalità concordate all'inizio del rilievo. Il contenitore delle informazioni (il sottoplatea), gli elementi al contorno (murature, vani e scale), gli oggetti principali (argano, pulegge, leve, capriate e solaio) richiedono di essere analizzati attraverso un procedimento di misurazione selettiva che via via stringe le maglie passando da una scansione generale al riconoscimento dei dettagli e del particolare.

Le attività di misura, dopo la fase di rilievo a vista, hanno impiegato le tecniche e gli strumenti del rilevamento topografico e successivamente, per la conoscenza degli elementi di dettaglio, si è operato con le tecniche del rilievo diretto. Le applicazioni operative del rilievo architettonico prevedono l'impiego di metodi di rilievo strumentale basati sulle discipline della topografia.

Il rilievo topografico tanto più utile quanto complessa è l'articolazione spaziale così come nel caso del meccanismo di sollevamento. Nella pratica si è proceduto con un inquadramento generale per fissare un sistema di riferimento locale al quale collegare il successivo rilievo di dettaglio che ha utilizzato sia la strumentazione topografica che il metodo della misura diretta.

Il programma di lavoro è stato pianificato in precedenza a seguito di numerosi sopralluoghi, durante i quali sono stati raccolti eidotipi con annotazioni delle singolarità riscontrate e fotografie ad alta qualità necessarie per la definizione di una conoscenza specifica degli oggetti da misurare.

L'inquadramento generale è stato realizzato tramite il collegamento, con una

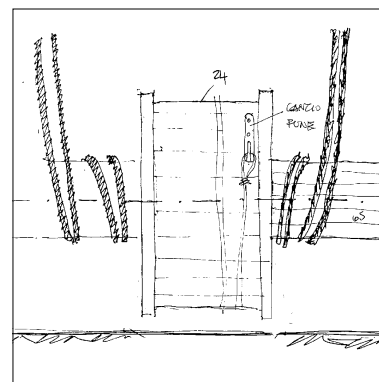
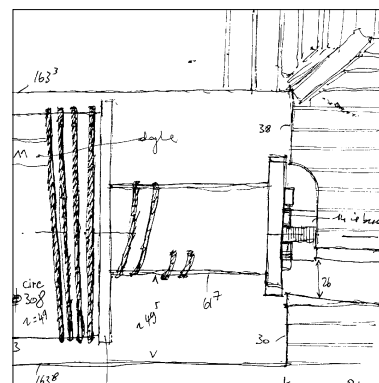


Figure 29, 30, 31 e 32. Modello vettoriale assonometrico del gruppo argano e pulegge ed alcuni eidotipi di rilievo diretto della pianta del sottoplatea e del gruppo di pulegge.



figura poligonale chiusa, di una serie di punti nello spazio definiti come vertici della rete di inquadramento. Procedendo per irraggiamento, è stato vincolato l'intero sistema del sotto platea nella sua qualità geometrica e spaziale.

Il rilevamento topografico si è reso necessario per stabilire con esattezza l'ambito spaziale all'interno del quale è contenuto il meccanismo di sollevamento e per definire le posizioni reciproche dei singoli componenti.

Si è proceduto vincolando, alla rete poligonale misurata in precedenza, i punti ritenuti cospicui e poi, procedendo per approssimazioni successive, da un quadro geometrico generale verso un grado di approfondimento di dettaglio: giaciture dei piani di sezione orizzontali e verticali, tracciati significativi da rilevare e dettagli da misurare, in alzato e in pianta.

Tali propositi sono stati tradotti tramite alcuni eidotipi che hanno permesso di prevedere la posizione dei vertici della rete di inquadramento.

Attraverso la rete di inquadramento o poligonale principale è stato possibile circoscrivere gli oggetti e percorrere il sottoplatea con una serie di segmenti che definiscono un poligono chiuso di quattro lati e quattro vertici.

La poligonale viene materializzata, ossia fisicamente definita e visibile, impiegando degli appositi chiodi topografici d'acciaio; è frequente, anche se da limitare al minimo, la necessità di dover ritornare "in stazione" per integrare i dati raccolti nelle precedenti sessioni.

Nel settore topografico sono oggi disponibili "goniometri" elettronici denominate stazioni totali integrate che consentono di registrare le coordinate spaziali di punti attraverso la lettura delle distanze tra punto collimato e centro dello stru-

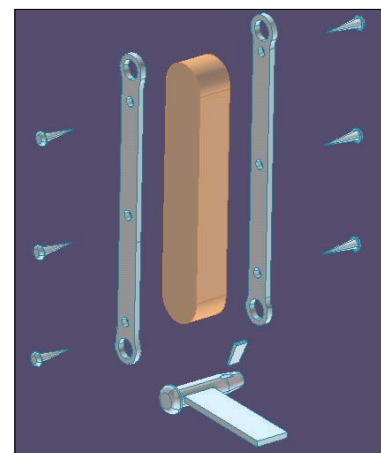


Figure 33, 34 e 35. Modelli tridimensionali vettoriali della leva di sollevamento, del supporto e relativo ancoraggio a terra, e della biella, che trasmette il movimento al sovrastante impalcato, rappresentata in esploso assonometrico.

mento. In modalità speditiva e coerentemente con gli scopi del rilievo architettonico, è possibile effettuare "letture" sfruttando la naturale capacità di riflessione dei materiali ossia si utilizza lo strumento senza apporre, sugli oggetti, cursori o mire⁵. Mentre la fase di rilevamento topografico ha consentito di definire le connotazioni complessive della "scena del rilievo", il rilievo diretto del meccanismo ha permesso di "smontare" i singoli elementi, misurati uno per uno per comprendere l'insieme delle componenti che permettono movimenti e trasmissione di forze.

Il metodo di lavoro, in questo caso, si differenzia dalla pratica tradizionale riservata al rilievo di un monumento: occorre misurare le singole parti ed evidenziare le modalità di collegamento tra gli elementi, al fine di definire il dimensionamento del meccanismo e ipotizzare, di conseguenza, le configurazioni previste dal suo funzionamento, che come già segnalato in precedenza, è impedito dalla recente disposizione dell'impiantistica antincendio.

Le misure rilevate direttamente, per mezzo di doppiometro, cordelle e distanziometro laser, sono state trascritte sui taccuini degli eidotipi, necessari quanto preziosi per la composizione di un abaco-distinta dei pezzi.

La rappresentazione dei dati del rilievo si è sviluppata attraverso il linguaggio codificato del disegno d'architettura e della rappresentazione tipica di pezzi meccanici fortemente orientata alla pratica costruttiva; è apparso necessario descrivere, attraverso le tavole di rilievo, l'interazione tra le singole parti della macchina, dalla posizione di riposo a quelle intermedie e poi al "fine corsa", situazione di perfetta complanarità tra palcoscenico e platea.

Il meccanismo perciò è stato illustrato con l'impiego di viste in proiezione ortogonale, necessarie per disporre l'articolata quotatura, e di viste assonometriche complessive e di montaggio costruttivo (esplosi e spaccati).

Le finalità concordate all'inizio della ricerca stavano nel raggiungere la piena conoscenza del manufatto selezionando gli elementi caratteristici e creando grafici affidabili. Ciò è stato reso possibile attraverso la costruzione di un modello digitale geometrico che definisce le peculiarità generali sino alle particolarità delle singole componenti.

Sono state preferite proiezioni assonometriche per consentire la comprensione dell'organismo dal punto di vista costruttivo e geometrico, mentre l'aspetto dimensionale è stato esplorato attraverso le proiezioni ortogonali, codificate nel linguaggio della normativa grafica.

La rappresentazione del manufatto ha suggerito un'analisi grafica approfondita per ogni singolo componente attraverso una tavola d'insieme commentata, tre

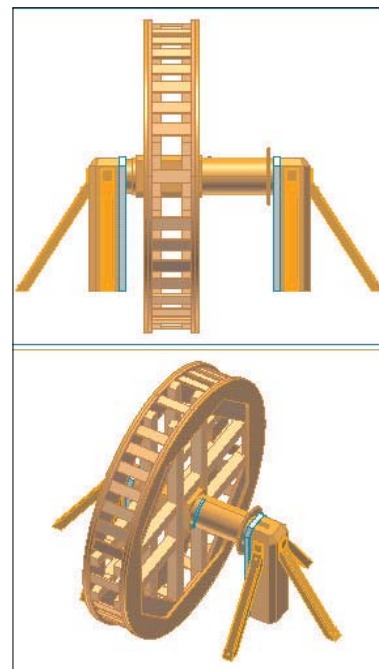


Figura 36. Modello tridimensionale vettoriale della ruota oziosa che riceve il moto dall'argano, tramite una fune, e lo ripartisce equamente ai due gruppi di pulegge.

Nota 5. E' stato utilizzata una stazione totale Topcon serie GPT-1000, che consente letture in doppia modalità: senza prisma riflettore (circa 100 metri) o a grande portata con l'ausilio di mire riflettenti (circa 1000 metri). Lo strumento è equipaggiato con un diodo laser ad impulsi che misura la differenza di tempo: questa modalità dimezza il tempo di misura, fornendo la lettura della distanza inclinata tra l'asse dello strumento e il punto collimato in circa 0,3 secondi.

tavole quotate e una tavola con modelli assonometrici descrittivi.

La comprensione dell'intero organismo è stata affidata ad una serie di elaborati planimetrici e a due modelli assonometrici che con vista epigrafica e ipografica, estratti dal modello vettoriale complessivo⁶, mostrano l'intera sottoplatea a partire dagli involucri che ospitano le macchine sino al solaio della platea.

Il meccanismo studiato presenta differenti configurazioni con la platea a riposo oppure sollevata a formare un piano orizzontale.

La lettura del cinematismo e la comprensione del movimento sono rappresentate in due sezioni (longitudinale e trasversale) e in un modello in spaccato assonometrico dove è chiaramente leggibile l'interazione tra pulegge, leve, capriate e solaio.

Una corretta rappresentazione grafica del meccanismo rilevato è stata raggiunta attraverso il coordinamento di elaborati grafici redatti nelle differenti scale. Ai tradizionali elaborati di pianta, prospetti e sezioni, ai fini della migliore e più completa documentazione del meccanismo, sono state affiancate opportune illustrazioni⁷ con proiezioni assonometriche anche in spaccato e in esploso, tipiche del linguaggio costruttivo e di fabbricazione.

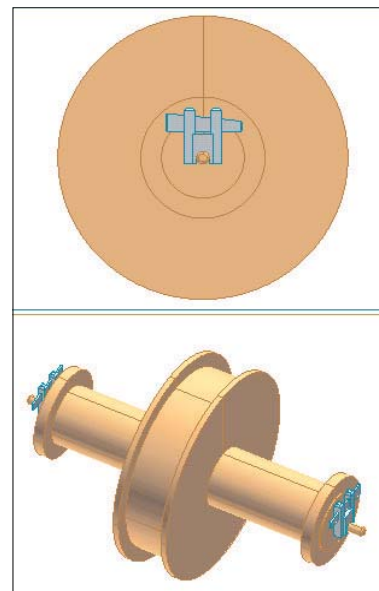
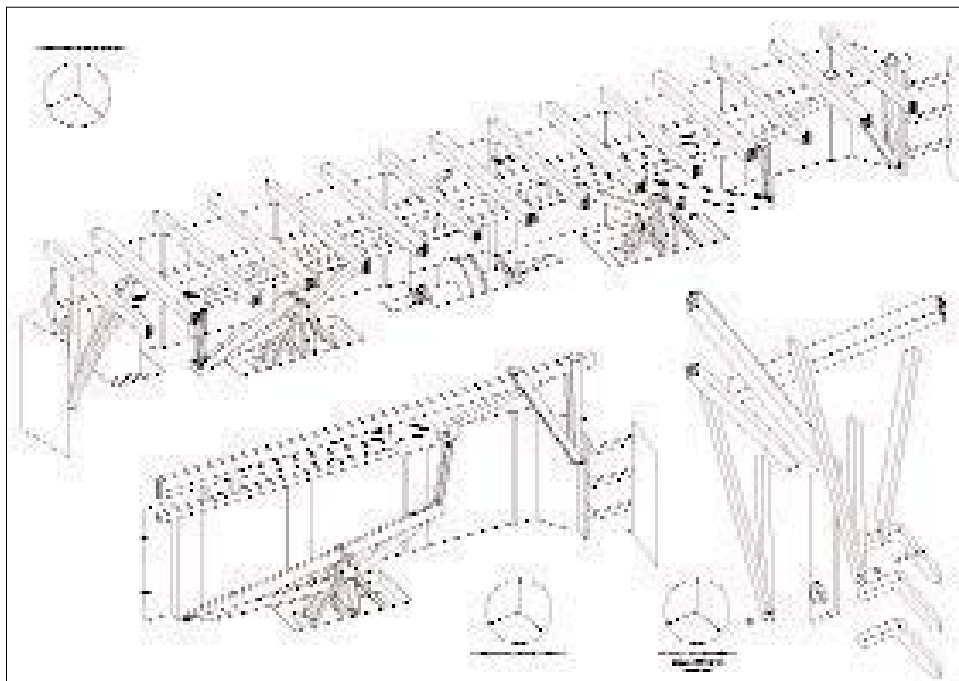


Figura 37. Modello tridimensionale vettoriale del gruppo di pulegge, che ricevono il moto e la trazione meccanica dalla ruota oziosa e raccolgono a se le estremità di due coppie di leve.

Figura 38. Modello assonometrico in spaccato e esploso del meccanismo di sollevamento, rappresentato a riposo e durante il movimento.

Nota 6. Confronta G. Amoroso, C. Bartolomei, *Modelli digitali integrati per il rilievo e il restauro dei monumenti*, in Atti del XXVI° Convegno internazionale delle discipline della rappresentazione, UID - Università degli Studi di Genova, Lerici 2004.

Nota 7. Confronta G. Amoroso, C. Bartolomei, *Piranesi. Tecniche integrate per la rappresentazione del progetto di architettura* in PAESAGGIO URBANO n° 5/2003, rivista bimestrale di architettura, urbanistica e ambiente, Maggioli Editore, Rimini 2003.



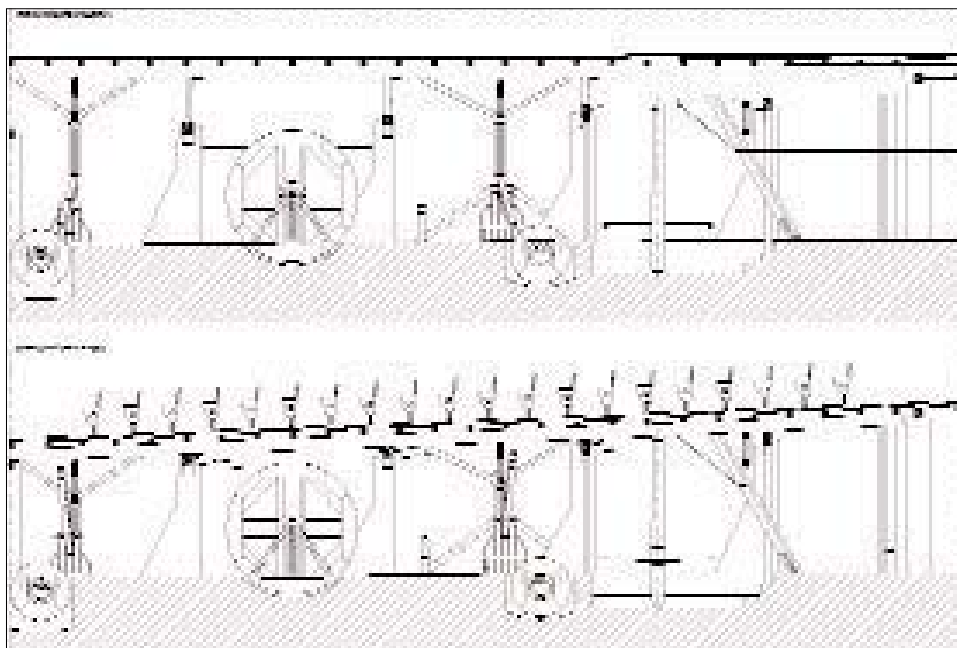
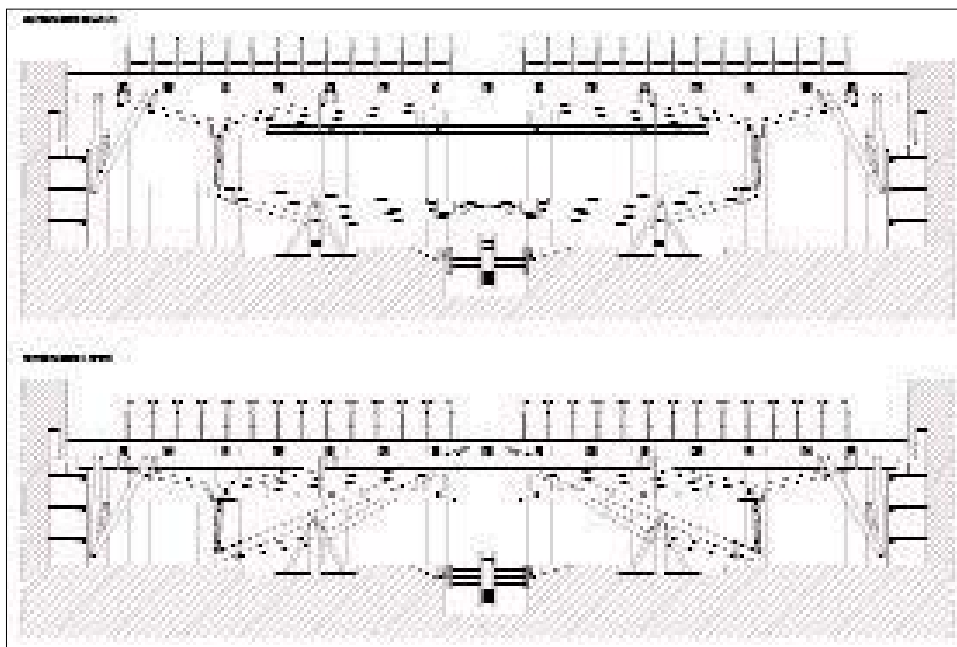


Figura 39 e 40. Sezioni longitudinale e trasversale della platea con evidenziato il meccanismo di sollevamento a riposo e a fine corsa, con il piano di calpestio orizzontale.



BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

A.A.V.V., *Il teatro per la città*, Bologna 1998

Francesco Algarotti, *Saggio sopra l'opera in musica*, Livorno 1763

Mario Docci, Diego Maestri, *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Roma - Bari 1994

Funaioli, Maggiore, Meneghetti, *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*, Bologna 1987

Ferdinando Galli Bibiena, *Direzioni Della Prospettiva Teorica Corrispondenti a quelle dell'architettura*, Bologna 1732

Istituto per i Beni culturali della Regione Emilia Romagna, *Teatri storici in Emilia Romagna*, Bologna 1982

Manfè, Pozza, Scarato, *Disegno Meccanico*, Milano 1983

William Mitchell, Malcolm McCullough, *Digital Design Media*, Milano 1996

Roberto Verti, *Il Teatro Comunale di Bologna*, Milano 1998

Roberto Mingucci, *Disegno Interattivo*, Bologna 2003