

# La struttura a guscio del Frontón Recoletos: dal disegno alla costruzione

Andrea Giordano, Andrea Colombo

## Abstract

*Le strutture a guscio, dette anche strutture laminari, nella prima metà del Novecento influenzarono profondamente la mentalità progettuale e costruttiva dei principali esponenti del Razionalismo Costruttivo. L'arte strutturale di figure come Eduardo Torroja, Pier Luigi Nervi e Félix Candela trovò la sua massima espressione estetica in questa avvincente tipologia costruttiva, che basava la resistenza statica sulla forma stessa assunta dalla struttura.*

*Tale archetipo costruttivo – strettamente influenzato dalla geometria e la relazione degli elementi strutturali – richiede un'accurata rappresentazione – sia in ambito bidimensionale che tridimensionale – degli elementi spaziali che compongono l'opera. A ciò si affianca l'aspetto pratico della costruzione, caratterizzato dall'impiego del calcestruzzo mediante l'utilizzo di articolate centine e casseforme. Il presente articolo affronta gli aspetti principali delle strutture laminari, a cui Torroja contribuì attraverso la realizzazione di alcune delle sue opere più celebri. La più audace – sia dal punto di vista architettonico che geometrico-strutturale – fu sicuramente il Frontón Recoletos e in particolare la sua copertura, la cui peculiarità geometrica e costruttiva rese celebre l'edificio a scala mondiale. Gran parte del merito per la costruzione della lamina e dei suoi lucernari viene attribuito all'ingegnere stesso, il quale si occupò della concezione configurativa del calcolo strutturale e dell'effettiva realizzazione della stessa.*

*Parole chiave: strutture a guscio, configurazione geometrico-strutturale, rappresentazione della costruzione.*

## Introduzione

Con questo contributo si sottolinea l'importanza della geometria per la genesi configurativa e strutturale dell'architettura. Interessante a tal proposito l'articolazione molteplice dello studio della geometria, considerando la geometria analitica, euclidea, descrittiva e proiettiva, la topologia. In questo senso, si parte dalle forme elementari e dalle relative proprietà sviluppate in ambito euclideo, dove si studiano quelle proprietà degli oggetti (piani e solidi) che rimangono invariate nonostante le loro rotazioni, traslazioni e riflessioni [Ugo 2020]. Tali proprietà includono la congruenza dei segmenti (avere la stessa lunghezza), la congruenza degli angoli (avere la stessa misura angolare) e il parallelismo. Logicamente, in ambito topologico si passa a una dimensione critica della forma,

tralasciando misura e angoli, per includere il concetto di "luogo" [Docci 2007].

A queste si affiancano gli aspetti teorici della geometria descrittiva e proiettiva, collegati alla rappresentazione e alla comunicazione dell'architettura. Ad esempio, nella geometria proiettiva, si studia il modo in cui gli oggetti vengono visti, evidenziando anche la distinzione tra la forma reale di un oggetto e il modo in cui l'oggetto viene visto. In entrambe, fondamentale risulta lo studio per la genesi delle superfici [Carlevaris, De Carlo, Migliari 2012].

Quanto introdotto evidenzia il ruolo della geometria sia per la creatività che per la comunicazione visiva: il primo aspetto è come realizzare una superficie, e il secondo è come comunicare detta superficie attraverso le rappresentazioni.

Questi argomenti costituiscono il fondamento formativo della geometria: conoscere la teoria geometrica alla base della configurazione dello spazio è essenziale per la realizzazione di strutture architettoniche e ingegneristiche innovative. È fondamentale quindi anche la comprensione delle forme, strettamente legata, in larga misura, all'osservazione con ricadute basilari sulla effettiva possibilità realizzativa di configurazioni complesse, da poter chiaramente comunicare e comprendere.

### La rappresentazione geometrica delle superfici

Lo studio della teoria architettonica è in stretta relazione con la sua realizzazione, con una forte saldatura tra una consapevole intuizione creativa e la esatta realtà fisica che mette in relazione forma e struttura. Per questo la consapevolezza geometrico/strutturale è necessaria per inventare ed esattamente proporzionare una superficie architettonica. D'altronde, l'efficacia e potenza realizzatrice della intuizione creativa è ampiamente dimostrata e testimoniata da grandiose opere tramandateci dal passato, quando le moderne teorie scientifiche erano completamente ignote. E oggi, l'acutezza dei moderni sistemi digitali, in continuo e progressivo sviluppo, ci ha consentito di raggiungere risultati elevati nella realizzazione di sempre più grandiose ed audaci opere. Ma la ideazione geometrico/strutturale – che permette di decifrare in modo efficiente le attuali superfici architettoniche, che ogni giorno vengono proposte dall'inarrestabile sviluppo di ogni aspetto dell'attività costruttiva – è frutto di una armonica fusione di personale intuizione inventiva e di obiettiva e realistica genesi geometrica legata alla struttura [Giordano 1999].

Fondamentali, pertanto, gli sviluppi teorici della geometria, con una rispondenza intuitiva che li vivifichi, diminuendone la impersonale durezza tecnica, e che li renda più umani e comprensivi, mentre le teorie formulistiche debbono offrire modi di esatte valutazioni alle quali resta affidato il raggiungimento di un massimo risultato con i minimi mezzi, obiettivo ultimo e indirizzo fondamentale di tutte le attività umane. In questo senso un'opera architettonica diventa una sintesi degli aspetti configurativi e strutturali, laddove un approfondito studio e il suo esame saranno particolarmente utili ai futuri architetti, i quali debbono saperla ideare e proporzionare nelle sue linee generali, in modo che essa riesca efficiente, importante e, possibilmente, bella. Nasce quindi una opportunità di comprendere l'architettura in tutti i suoi aspetti

(estetici, economici, sociali e tecnici), soprattutto nel campo della genesi delle forme architettoniche e quindi delle strutture portanti, che permettono la realizzazione di opere di straordinarie dimensioni [Colombo, Giordano 2022].

In architettura la componente geometrico/strutturale è essenziale. «Sia che l'uomo costruisse un semplice riparo per sé e la sua famiglia, sia che erigesse ampi locali dove centinaia di persone potessero esercitare il culto, commerciare, discutere di politica od assistere a spettacoli, egli ha dovuto foggare certi materiali ed impiegarli in determinate quantità perché le sue costruzioni potessero resistere alla forza di gravità od altri pericolosi carichi» [Salvadori, Heller 1963, p. 18]. In questo senso importante è assicurare una forma che possa reggersi e resistere alle forze interne ed esterne, ma concepite secondo criteri estetici, che spesso impongono nella realizzazione delle strutture esigenze più rigorose di quelle della resistenza e della economia. Alcuni architetti e ingegneri contemporanei – come Eduardo Torroja, Pier Luigi Nervi e Félix Candela – hanno realizzato architetture di elevata bellezza in cui è evidente proprio lo stretto legame tra forma e struttura. È altrettanto ovvio che, una volta fissati i principi basilari della genesi geometrico/strutturale, è facile anche la gestione progettuale ed esecutiva, diventando agevole trarre profitto da queste esperienze, sistematizzare queste conoscenze e arrivare a capire come e perché funziona una moderna struttura.

In questo senso, la rappresentazione delle superfici, nelle sue varie forme espressive, costituisce il necessario elemento culturale e sintattico di mediazione ed integrazione tra realtà e immaginazione, oltre che uno specifico strumento di produzione teorica e tecnica per il progetto di architettura.

### Le strutture resistenti per forma

Le strutture resistenti per forma sono particolari conformazioni geometriche in cui specifiche curvature consentono di aumentare la capacità resistente, senza dover ricorrere ad alcun aumento di spessore. Soluzioni di questo tipo sono sempre state ampiamente utilizzate nel corso della storia. Esempi di questa innovazione sono riscontrabili nelle architetture di Antoni Gaudí, utilizzando più volte l'arco catenario e le sue armoniose geometrie per il sostegno delle coperture. Dalla rievocazione delle forme già presenti in natura, sorgevano nelle opere del maestro catalano archi parabolici, la cui forma entrava in perfetto connubio con la soluzione strutturale [Benvenuto 1995].

A partire dal XIX secolo si assiste a un rivoluzionario progresso nel disegno e nella progettazione delle volte: il concetto di statica grafica consentiva di ottenere la forma funicolare delle strutture, lavorando unicamente a compressione ed eliminando sollecitazioni di trazione e flessione. Tale soluzione favoriva in particolare le costruzioni realizzate con materiali ceramici, quali il mattone e il calcestruzzo. In merito alle soluzioni in laterizio, in terra catalana la volta in mattoni “*in folio*” assunse un ruolo primario sia nella costruzione di fabbricati industriali che di palazzi nobiliari, in particolare quelli del Piano di Barcellona di Ildefonso Cerdà [Ochsendorf, Freeman 2010].

In un contesto fertile di innovazioni geometriche e costruttive si colloca Eduardo Torroja Miret, ingegnere originario di Tarragona (Catalogna, Spagna), nonché maestro indiscusso nel campo delle strutture resistenti per forma. Torroja nei primi anni di formazione accademica si appassionò fortemente al sistema costruttivo della volta in laterizio. Complice la sua ascendenza catalana, rimase profondamente sorpreso dalle grandi potenzialità che questa tecnica costruttiva locale presentava, da lui stesso definita come «tipico prodotto di questa terra, così come la carruba dei suoi campi» [Ochsendorf, Freeman 2010, p. 195] (fig. 1).

Il segreto della loro stabilità risiedeva proprio nella loro leggerezza, nella forma e nella delicatezza [Maure 2004]. Tuttavia, al di là del fattore puramente estetico, l'aspetto esecutivo era e rimane il più grande vantaggio di questa tipologia costruttiva. Nella sua ricerca ispirata all'architettura vernacolare, Torroja si servì in più occasioni delle *bóvedas tabicadas* per realizzare le sue strutture, sia per coprire

distanze relativamente lunghe tra le travi che come sottostruttura per i piani superiori. Il tutto senza l'utilizzo di alcun tipo di cassaforma, con un grande risparmio sia in termini temporali che economici. In alcune circostanze, arrivò persino ad impiegarle come casseforme per la realizzazione di strutture laminari, come nel caso del deposito d'acqua di Fedala (Marocco). Casserare l'intera struttura avrebbe comportato un costo non trascurabile, data la quantità di materiale necessario e la particolare geometria dell'opera. Per questo motivo, Torroja decise di realizzare la struttura di supporto per il getto con l'utilizzo della sua amata volta catalana, la cui versatilità gli permetteva di realizzare la forma desiderata senza utilizzare casseforme. Per la copertura – che non sarebbe stata soggetta alle spinte idrostatiche – si decise di lasciare la struttura leggera con mattoni in tripla foglia a vista [Chías Navarro, Abad Balboa 2005] (fig. 2).

Tale esempio è solamente l'ennesima dimostrazione di come le volte in folio di mattone siano metaforicamente (e di fatto) la soluzione costruttiva di supporto e di transizione – nonché antesignana – delle strutture a guscio in calcestruzzo armato.

Per Torroja, l'adattabilità che le lamine in calcestruzzo armato presentavano nella loro strutturazione, così come il loro monolitismo e continuità spaziale, facevano di questa soluzione per le coperture una delle innovazioni più belle della tecnica e dell'architettura moderna [Maure 2004]. Inoltre, la snellezza che derivava dal loro spessore irrisorio garantiva una perfetta corrispondenza tra spazio interno e volume visibile esternamente, tanto che l'espressione funzionale dell'edificio si rivelava da sé [Colonnetti 1957].

Erano anni – quelli in cui operava – in cui i progettisti puntavano alla valorizzazione estetica dell'opera attraverso l'espressione della sua capacità resistente [Torroja 1957]. Tuttavia, l'adozione di un particolare tipo strutturale non era dettata esclusivamente da considerazioni di indole meccanica. Esso risentiva inoltre di altri motivi funzionali fondamentali, *in primis* il procedimento costruttivo, strettamente legato alla fattibilità economica dell'opera.

Quest'ultima considerazione ci permette di introdurre un'altra personalità – centrale negli sviluppi del tema – che si trovò più di una volta a interagire e confrontarsi con Torroja: Pier Luigi Nervi, che, in ambito strettamente costruttivo, seppe pienamente orientare la concezione formale delle sue strutture. Nervi padroneggiava con grande maestria il calcestruzzo armato che gli consentiva di ottimizzare il costo dell'opera e razionalizzare il processo di costruzione, tanto che negli anni a seguire venne riconosciuto – oltre che

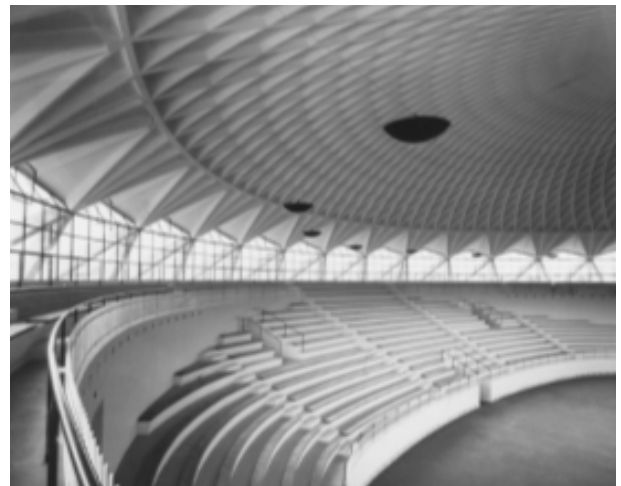
Fig. 1. Costruzione di volte alla catalana per il Mercado Sagrera a Barcellona [Torroja 1957, p. 280].



Fig. 2. Deposito d'acqua di Fedala, Torroja, 1956: veduta esterna (sopra) e particolare dell'intradosso con la volta catalana (sotto) [Torroja 1957].



Fig. 3. Confronto tra l'intradosso della copertura del Mercado de Algeciras (sopra) di Torroja e del Palazzetto dello Sport di Nervi (sotto).



come «un grande scultore di spazi architettonici» – come un «mago nel controllo esaustivo del costo dell'opera» [Cassinello Plaza 2006, p. 28].

Il tutto senza mai trascurare la questione dell'espressione estetica, che doveva basarsi essenzialmente sulla "verità" dell'opera architettonica. La struttura doveva aderire perfettamente alle necessità statiche, consentendo la visibile materializzazione delle forze in gioco. Sotto questo aspetto, Nervi probabilmente si dimostrò più efficace e coerente, dato che le nervature all'intradosso delle sue coperture riflettevano perfettamente la trasmissione dei carichi al terreno. Dal confronto di due opere degli autori in questione emerge chiaramente questa differenza.

Il Palazzetto dello Sport di Nervi, realizzato nel 1955, 22 dopo anni il Mercato di Algeciras di Torroja, pur caratterizzato sempre da una copertura a calotta sferica, presenta all'intradosso una trama di nervature che dichiarano la ferma volontà dell'ingegnere italiano di condurre le spinte al terreno. Al contrario, Torroja sembra voler quasi nascondere lo sforzo della sua copertura, occultando le linee di tensione che scorrono all'interno di essa (fig. 3).

Tant'è che l'ingegnere spagnolo sembra quasi voler fare un passo indietro dinanzi alla considerazione della verità architettonica come dogma assoluto ed esclusivo, dichiarando che «se è vero che è peccaminoso mentire, non sempre è peccato nascondere la verità» [Torroja 1957, p. 248]. In diversi casi Torroja antepone al concetto di verità strutturale il concetto di verità funzionale, secondo il quale deve esserci una perfetta corrispondenza tra lo spazio interno e il volume visibile all'esterno, di modo che l'espressione funzionale dell'opera possa risultare facilmente intuibile [Colonnetti 1957]. È questa, infatti, la tipologia costruttiva che a suo parere meglio rivela all'esterno la natura dell'edificio, così come l'episodio architettonico che si manifesta all'interno di essa. In tali strutture, il confine interno-esterno è talmente sottile che risulta difficile parlare di intradosso ed estradosso delle superfici.

Analogamente, un artista in grado di realizzare opere i cui esili sbalzi erano dotati di spessori pressoché "irrisori", è certamente Félix Candela, che si era dimostrato fermamente convinto del fatto che in una costruzione, al di là del mero calcolo numerico, esistesse una forte connessione tra forma e struttura.

Candela trovò in Messico l'ambiente ideale per lo sviluppo delle sue avvincenti strutture a guscio. Il clima estremamente favorevole permetteva di ovviare a problematiche legate all'isolamento termico e all'impermeabilizzazione, mentre il

basso costo della manodopera favoriva soluzioni in calcestruzzo armato, data la complessità della cassetatura. All'apice della sua carriera di costruttore, assunse come modelli di riferimento le strutture "a ombrello" disegnate da Giorgio Baroni e, con la geometria del paraboloide iperbolico, ne migliorò l'aspetto esecutivo. La principale caratteristica di questa superficie – così come quella dell'iperboloide iperbolico – è che appare concava in una direzione e convessa nella direzione ortogonale. La duplice direzionalità conferisce loro un'alta resa estetica: le loro sezioni e le loro linee d'ombra danno luogo alla formazione di ellissi, circonferenze, parabole, iperboli o rette a seconda dell'orientamento, con un passaggio graduale dalle une alle altre al variare della luce [Torroja 1957]. Dal punto di vista costruttivo, i vantaggi che queste superfici rappresentano sono dati dal fatto che la posa dei casseri risulta più agevole, dato che le tavole per il contenimento del getto devono essere disposte lungo le rette generatrici della forma (fig. 4).

Nelle opere di Torroja, Nervi e Candela, concezione geometrico-configurativa e scheletro strutturale entravano perfettamente in simbiosi. La forma artistica e l'assetto strutturale si fondevano in un tutt'uno, sopprimendo gli elementi puramente ornamentali ed esaltando, nella loro semplicità, la grazia delle linee, la proporzione delle masse e il ritmo delle aperture [Torroja 1957].

Nonostante la formazione e l'orientamento prettamente ingegneristico, la loro filosofia progettuale si sposava perfettamente con i principi promulgati dal Movimento Moderno. L'ingegnere Torroja si fece portavoce di questi concetti, esprimendoli più volte nelle sue opere attraverso uno stile basato sull'assenza di elementi. Secondo il suo modo di concepire la struttura in quanto opera d'arte, la sua bellezza doveva fondarsi sulla razionalità della struttura. Tale splendore doveva essere raggiungibile senza che vi fossero necessarie né aggiunte né ornamentazioni esterne [Colonnetti 1957]. Torroja, dal canto suo, riteneva che il valore estetico risiedesse nella funzionalità della struttura stessa, dotata di una ricca espressività statica. Tutti questi principi si riflettevano sui nudi intradossi delle sue strutture laminari che, salvo casi di necessità funzionali, rimanevano puri e privi di nervatura o materiale di rivestimento.

## Il gesto

Agli inizi del XX secolo, l'ideologia di purezza del Movimento Moderno andava di pari passo con quelle di movimento

Fig. 4. Preparazione del getto per la realizzazione della copertura del Restaurante Los Manantiales, Félix Candela, Xochimilco, Messico [Casinello Plaza 2006].



e dinamismo promosse da correnti avanguardistiche come il Futurismo italiano e il Costruttivismo russo). Si parla di stili alla costante ricerca di espressioni di energia e dinamismo tramite schizzi, disegni e configurazioni architettoniche. Nei primi tempi, il gesto si traduceva in una molteplicità di segni appena accennati: forti gesti e tratti nel Futurismo, prospettive forzate e composizioni sbilanciate nel Costruttivismo russo, accompagnati da violenti movimenti diagonali [Frampton 1986].

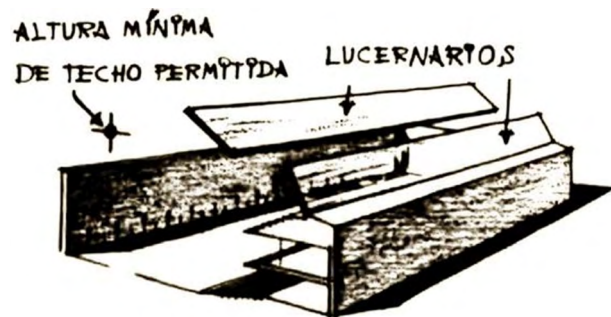
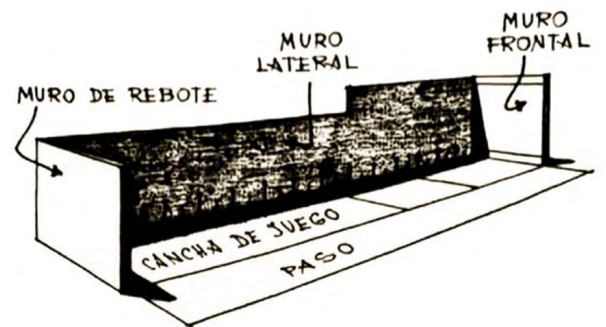
In Torroja, come in Candela, il gesto sorgeva spontaneamente da un incontro tra funzione e controllo delle tecniche costruttive. La soluzione funzionale attivava il gesto, mentre il dominio costruttivo lo dotava di sicurezza e di fermezza, così come la volontà di espressione guidava definitivamente la matita. Il gesto era integrale, perché si appoggiava nella funzione e nella costruzione prima ancora di generare la forma. E tale forma, una volta costruita, delineava totalmente lo spazio dotandolo di un carattere significativo.

La stessa copertura del palazzetto sportivo del Frontón Recoletos – una delle opere più riconoscibili di Eduardo Torroja – nasce da un gesto chiaro e riconoscibile. La struttura e la forma di tale copertura, infatti, esprimevano perfettamente il volteggio, la violenza fisica e il movimento che lo sportivo effettuava per colpire la pelota. Allo stesso tempo, trasmettevano energia e velocità proprie del Movimento Moderno e dell'“Era della macchina” [1] [Salvadori, Heller 1963].

Senza dalle prime pagine di apertura del libro *Razón y ser de los tipos estructurales* [Torroja 1957] si intuisce chiaramente che il processo creativo, attraverso il quale Torroja concepiva le sue costruzioni, sia stato sempre associato ad un fatto artistico, legato all'intuizione e all'esperienza acquisita. Lo studio teorico e la formazione tecnico-scientifica si limitavano a controllare forme e proporzioni che aveva già assegnato preventivamente. Risulta evidente quindi che alla creazione di un artefatto non si giunga per via deduttiva, attraverso ragionamenti di carattere logico. Per giungere alla forma perfetta, Torroja lavorava riunendo le condizioni di partenza, da cui poi concepiva la geometria mediante l'intuizione, l'immaginazione e la matita. Un approccio sperimentale in cui il calcolo era relegato a strumento finale per confermare la bontà della forma ottenuta, dove il dominio della tecnica era il supporto per l'espressione e l'idea [Artieda, Machin 2013].

Nel caso della copertura del Frontón Recoletos, i vincoli iniziali imposti alla copertura erano strettamente legati alle esigenze della pratica sportiva, le quali dettavano al tempo stesso la geometria del campo da gioco. La *pelota vasca*

Fig. 5. Frontón Recoletos: i vincoli di progetto per la copertura [Torroja 1962].



moderna è una disciplina che si praticava in un *frontón* chiuso dai muri frontale (*frontis*), laterale (*pared de izquierda*) e posteriore (*muro de rebote*). Gli spettatori occupavano il quarto lato, aperto e situato di fronte al muro laterale. Oltre a ciò, il regolamento locale imponeva un'altezza minima del piano d'imposta della copertura giustificata dalle altezze minime che dovevano avere i muri del *frontón*. Tale requisito consentiva alla *pelota* di tracciare le sue armoniose traiettorie curvilinee senza che incontrasse alcun tipo di ostacolo (fig. 5).

Come prima soluzione, si valutò la possibilità di inglobare i due lucernari in una copertura poliedrica in vetro e acciaio. La direttrice prevedeva una serie di travi reticolari in direzione trasversale, unite tra loro mediante travetti longitudinali. Tuttavia, la soluzione non era soddisfacente per motivi sia estetici che strutturali (fig. 6).

La seconda proposta, invece, consisteva nel posizionare due grandi travi reticolari, appoggiate sui timpani di bordo, attraverso le quali potesse filtrare la luce indiretta. La trave si componeva quindi di una coppia di traversi collegati tra loro da una trama di diagonali (fig. 7).

Anche questa opzione non risultava però ideale, soprattutto da un punto di vista compositivo. Durante il processo creativo, però, accadde qualcosa del tutto spontaneo e irrazionale che portò alla concezione definitiva dell'involucro. Le linee della copertura vennero ingentilite, e il profilo assunse un andamento curvilineo.

Sempre tenendo in considerazione i requisiti di altezza e di illuminazione della sala, oltre alla volontà di trasmettere una sensazione di massima ampiezza possibile, la mano dell'immaginazione tracciò istintivamente due archi la cui asimmetria coincideva con quella della sala stessa. L'idea si concretizzò con l'adozione di una lamina cilindrica in calcestruzzo armato di due lobi che, in corrispondenza dei lucernari, si convertiva in una maglia triangolare di pannelli vetrati [Torroja 1999] (fig. 8).

Il sistema definito dal progetto finale, dunque, era caratterizzato da una lamina cilindrica in calcestruzzo armato di soli 8 cm di spessore, il quale raddoppiava (16 cm) in corrispondenza dell'intersezione ortogonale di due lobi cilindrici, generando la cosiddetta sezione ad "ala di gabbiano". La nuova forma nasceva quindi da un gesto: essa esprimeva il movimento dello sportivo che colpiva la *pelota* e trasmetteva al tempo stesso il dinamismo della macchina.

La nuova soluzione in calcestruzzo era la massima espressione dei concetti di orizzontalità, velocità, forza, nudità [Artieda, Machin 2013] (fig. 9).

Fig. 6. *Frontón Recoletos*. Prima ipotesi di progetto: copertura poligonale [Torroja 1962].

Fig. 7. *Frontón Recoletos*. Seconda ipotesi di progetto: travi reticolari [Torroja 1962].

Fig. 8. *Frontón Recoletos*. Soluzione definitiva con lobi asimmetrici e lucernario a maglia triangolare [Torroja 1962].

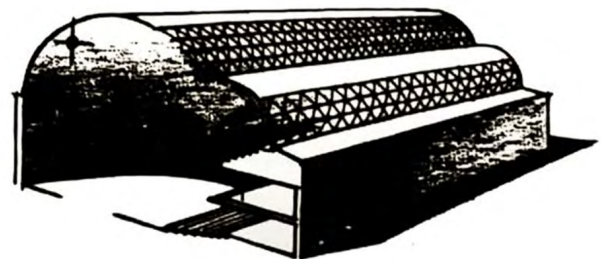
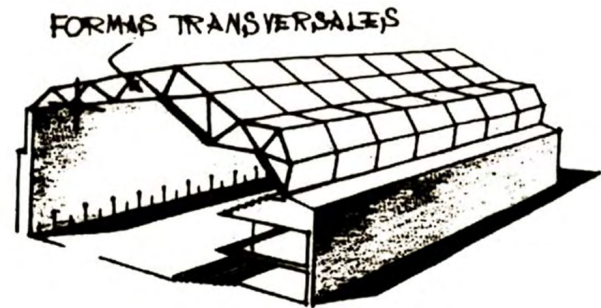
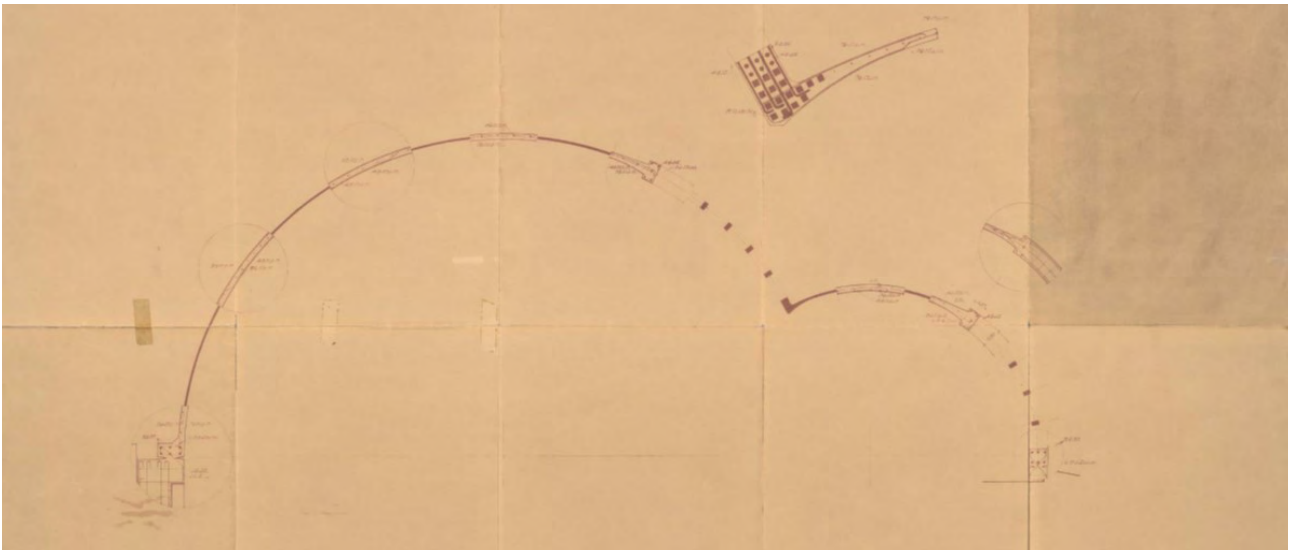
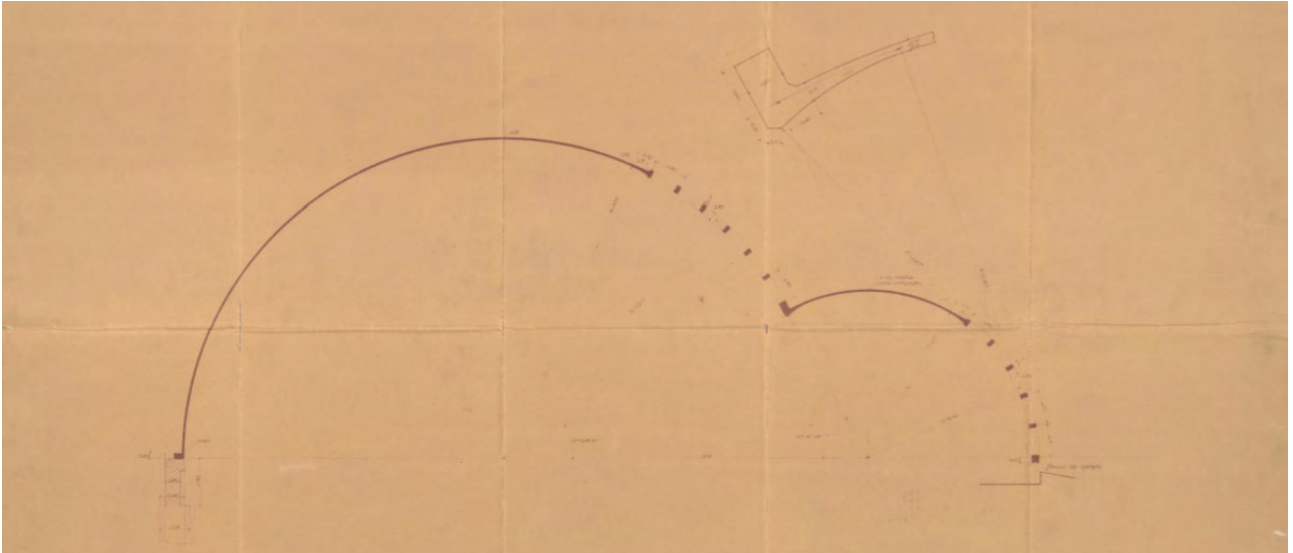


Fig. 9. Frontón Recoletos: sezioni trasversali della copertura. Tavole delle carpenterie e delle armature [Archivo Digital Torroja, CEHOPU-CEDEX].



## Dalla carta al cantiere

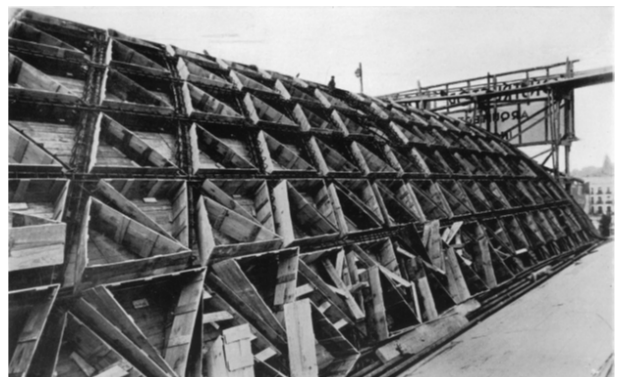
L'ingegnere José María Aguirre Gonzalo e il professore Eugenio Ribera vennero chiamati in causa come consulenti per valutare la fattibilità costruttiva dell'audace copertura. I due strutturisti produssero una relazione di una dozzina di pagine, in cui esponevano le loro osservazioni in merito alla costruzione della copertura e all'allestimento delle centine per i lavori in quota [Ribera, Aguirre 1935]. In particolare, si suggeriva la costruzione di una centina orizzontale con i relativi puntoni di sostegno; la realizzazione della manovra di scasseratura in maniera delicata, assieme al controllo delle deformazioni prodotte una volta effettuata questa operazione; e infine l'aggiunta di uno strato esterno di isolante per evitare eccessive oscillazioni termiche del calcestruzzo. Da un punto di vista costruttivo, per questo tipo di coperture era necessario che la lamina si comportasse il più uniformemente possibile. La colata di calcestruzzo doveva essere pertanto simultanea, senza che venisse effettuata alcuna ripresa di getto. Ciò inevitabilmente comportava un consumo spropositato di legname non solo per le puntellature, ma anche per le casseforme. Non vi era infatti la possibilità, nonostante si trattasse di una serie di moduli ripetuti, di sfruttare il vantaggio dato dal riutilizzo delle casseforme del getto precedente. La scelta fu dettata anche dalla necessità di ultimare l'opera e avviare l'attività il prima possibile, dato che le entrate generate dai primi spettacoli, secondo i calcoli della committenza, avrebbero dovuto coprire i costi eccedenti. Si decise pertanto di utilizzare il cemento alluminico a presa rapida, in modo da poter velocizzare ulteriormente i tempi di realizzazione. Il getto venne quindi effettuato in meno di una settimana. Una volta indurito, si procedette alla delicata rimozione delle centine sotto un ferreo controllo delle deformazioni della lamina, che risultarono conformi a quelle previste dai calcoli [Arredondo Verdu et al. 1977] (figg. 10, 11).

## Conclusioni

Il saggio dimostra chiaramente come il disegno e la geometria siano strumenti essenziali per lo sviluppo di un'idea progettuale. In particolare, il disegno in forma di schizzo, o come supporto per l'elaborazione di una tavola progettuale, rappresenta il perno attorno al quale ruota l'intero sviluppo di una concezione architettonica e strutturale. Nel caso del Frontón Recoletos di Eduardo Torroja, l'ingegnere

Fig. 10. Frontón Recoletos: vista generale dell'allestimento del cantiere [Liñán 2020].

Fig. 11. Frontón Recoletos: la posa delle casseforme sulla volta maggiore [Martínez Martínez 2018].



traduce i suoi pensieri sulla carta sotto forma di diagrammi, raccogliendo i propri ragionamenti e condividendoli con l'osservatore. Si parla di trasparenza della struttura – data dalla soluzione monolitica delle lamine in calcestruzzo – ma si parla anche e soprattutto di trasparenza di pensiero. L'autore attraverso la carta e la matita ci porta nel suo mondo dell'immaginario e ci rende partecipi del processo creativo, offrendoci la chiave per accedere e comprendere il percorso che ha portato alla concezione finale dell'opera. Le sezioni di progetto, invece, lasciano intravedere ed apprezzare lo sforzo ingegneristico che si cela dietro il sipario dell'involucro architettonico. Il disegno geometrico, in questo caso, assume valore grafico e tecnico, rappresentando di fatto il manuale per l'effettiva realizzazione dell'opera. L'aspetto interessante delle strutture laminari è la mancata distinzione tra sostanza strutturale e configurazione geometrico-architettonica. Ciò si manifesta in maniera ancor più visibile nella produzione grafica degli elaborati, in cui la descrizione visiva dell'elemento portante assume al tempo stesso valore estetico e costruttivo (fig. 12).

#### Note

[1] Per "Era della macchina" si intendono gli aspetti di energia e dinamismo, elementi chiave del Movimento Moderno e delle correnti archi-

#### Autori

Andrea Giordano, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale - ICEA, Università degli Studi di Padova, andrea.giordano@unipd.it  
 Andrea Colombo, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Foster + Partners, acolombo@fosterandpartners.com

#### Riferimenti bibliografici

Arredondo Verdu, F. E. (1977). *La obra de Eduardo Torroja*. Madrid: Instituto España.

Artieda, V., Machin, T. (2013). Frontón Recoletos: la construcción de la metáfora. In *Proyecto, Progreso, Arquitectura*, n. 8, pp. 72-87.

Benvenuto, E. (1995). Prefazione. In E. Torroja (Ed.). *Razón y ser de los tipos estructurales*, pp. 2-15. Madrid: Instituto de la Construcción y del Cemento. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (ed. italiana: Prefazione. In *La concezione strutturale. Logica e intuito nella ideazione delle forme*, pp. 2-15. Torino: Città Studi).

Carlevaris, L., De Carlo, L., Migliari, R. (a cura di). (2012). *Attualità della geometria descrittiva*. Italia: Gangemi Editore.

Cassinello Plaza, M. J. (2006). *Félix Candela, centenario. La conquista de la esbeltez*. Madrid: Turkana Libros.

Fig. 12. Eduardo Torroja, "solo et pensoso".



tettoniche annesse. A tali elementi si aggiunge il concetto di "Macchina per abitare", ripreso più volte dall'architetto Le Corbusier.

Chías Navarro, P., Abad Balboa, T. (2005). *Eduardo Torroja Obras y Proyectos*. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

Colombo, A., Giordano, A. (2022). Criteria and Procedures for the Geometric Parametrization of Existing Buildings: The Case Study of the Roof of the Frontón Recoletos in Madrid. In L.-Y. Cheng (Ed.). *ICGG 2022 - Proceedings of the 20th International Conference on Geometry and Graphics*, pp. 661-672. Cham: Springer.

Colonnetti, G. (1957). *Scienza delle costruzioni, III, La tecnica delle costruzioni, le pareti sottili*. Torino: Einaudi.

Docci, M. (2007). Prefazione. In *Disegnare. Idee immagini*, n. 35, p. 3.

Frampton, K. (1986). *Storia dell'architettura moderna*. Bologna: Zanichelli.

Giordano, A. (1999). *Cupole, volte e superfici: la genesi e la forma*. Italia: UTET.



Liñán, J. M. A. (17 agosto 2020). Madrid, hecho y roto, de la República a la Guerra. El País.

Martínez Martínez, M. E. (2018). The preservation of the architectural heritage of the twentieth century: the laminar structures of reinforced concrete. In C. Gambardella (Ed.). *World heritage and knowledge: representation, restoration, redesign, resilience. XVI International Forum "Le Vie dei Mercanti"*, pp. 651-668. Roma: Gangemi Editore.

Maure, L. (2004). *Zuazo Torroja: Frontón Recoletos, Madrid (1935)*. Madrid: Ruenda.

Ochsendorf, J., Freeman, M. (2010). *Guastavino Vaulting: The Art of Structural Tile*. New York: Princeton Architectural Press.

Ribera, E., Aguirre, J. (1935). *Informe de los ingenieros E. Ribera, J. M. Aguirre*. Madrid: Fundación Juanelo Turriano.

Salvadori, M., Heller, R. (1963). *Le strutture in architettura*. Milano: Etas Kompass.

Torroja, E. M. (1957). *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid: Instituto de la Construcción y del Cemento. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Torroja, E. M. (1962). Frontón Recoletos. In *Informes de la construcción*, n. 14 (137), pp. 41-50.

Torroja, E. M. (1999). *Las estructuras de Eduardo Torroja*. Madrid: Instituto de la Construcción y del Cemento. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Torroja, J. A. (2016). El ingenio en la obra de Eduardo Torroja. In M. J. Casinello Plaza (Ed.). *Museo Eduardo Torroja*, pp. 109-113. Madrid: Fundación Eduardo Torroja.

Ugo, V. (2020). *Fondamenti della rappresentazione architettonica*. Bologna: Società Editrice Esculapio.