

**Strutturisti-costruttori, strutturisti-matematici e...architetti-strutturisti?**  
Riflessioni sulle relazioni tra l'“arte del costruire”,  
la meccanica (dei solidi e delle strutture) e la progettazione strutturale nell'architettura

Patrizia Trovalusci

Giuseppe Rega

## 1. Introduzione

L'occasione di ricordare l'insegnamento di Edoardo Benvenuto, con particolare riferimento alla individuazione del ruolo svolto dalle discipline meccanico-strutturali nelle Facoltà d'Architettura, ci invita a riflettere, nella prospettiva di una programmazione organica interdisciplinare di tali materie fondata sulla fertile collaborazione tra 'ars' e 'techne', su come il patrimonio di conoscenze scientifiche e tecniche si sia integrato con la cultura architettonica nel corso dei secoli ed abbia contribuito a delineare quella consapevolezza capace di condizionare significativamente il processo progettuale, tanto nell'architettura del passato quanto in quella moderna e contemporanea.

Tale riflessione trae stimolo e giustificazione dalla constatazione che in buona parte dell'architettura contemporanea è manifesta la volontà di riferirsi al bagaglio tecnico-costruttivo ormai acquisito ai fini della scelta di un linguaggio compositivo coerente con la coscienza del proprio tempo. Parafrasando Benvenuto<sup>1</sup>, l'architettura riconosce l'esigenza vitale di parlare il linguaggio della tecnica contemporanea e al contempo la tecnica avverte la necessità di trascendere la propria natura strumentale inverandosi in un processo creativo di tipo artistico. Muovendo dalle ben note istanze del Razionalismo, fondate sulla lezione di Le Corbusier, Gropius, Mies, Aalto, più tardi e più chiaramente di Kahn, dalle suggestioni del programma di Torroja, Nervi, Morandi e Musmeci, nel quale si legge il tema strutturale in chiave lirica, passando attraverso le sperimentazioni di Wright, Tange, Piano, Utzon, Gehry e Calatrava fino a pervenire alle istanze dell'espressionismo di Mendelshon, dell'informale e dell'architettura della “complessità”<sup>2</sup> di Koolhaas, Libeskind, Eisenman, Kurokawa, si evince come la concezione strutturale ('firmitas') sia chiamata a giocare un ruolo rilevante nel processo creativo fino a diventarne il connotato dominante ovvero, in alternativa, fino ad integrarsi organicamente con le altre componenti del progetto d'architettura ('utilitas', 'venustas'). Da questo quadro rimangono naturalmente escluse le posizioni, che pure incidono largamente sul modo di concepire e fare architettura, in cui appare manifesta la volontà di prescindere dalla contemplazione dei problemi strutturali, ritenendo gli stessi comunque risolvibili.

Sebbene, in accordo con le riflessioni di Ludovico Quaroni<sup>3</sup>, la cultura architettonica italiana, per tradizione aliena al messaggio di fondo del gotico europeo, abbia generalmente focalizzato l'attenzione sulle componenti estetica e funzionale della lezione prima vitruviana e successivamente albertiana, l'interesse riguardo l'influenza del linguaggio strutturale-costruttivo nella concezione dell'opera d'architettura 'tout court' appare ormai ampiamente riscontrabile. Non è per esempio un caso che in tempi recenti la letteratura specifica in materia d'architettura sia orientata ad individuare l'importanza di una rilettura in questa chiave non solo delle opere del passato, compito che è stato prerogativa degli storici di impostazione positivista<sup>4</sup>, ma anche di quelle contemporanee<sup>5</sup>. Appare dunque appropriato, ed in linea con una concezione “globale” dei processi culturali, proporre un'indagine sulle potenzialità, non del tutto esplorate, offerte all'Architettura dalla Modernità e dai suoi portati, tra i quali nella fattispecie la Scienza e la Tecnologia. E non è vetero-funzionalista né “tardo-moderno”<sup>6</sup> ritenere che l'“architettura totale”, nell'accezione di Gropius, possa ancora diventare la chiave per il superamento della pesante ipoteca dello storicismo che spesso ha condotto, e tuttora per alcuni versi conduce, all'inclinazione nostalgica verso il formalismo tipologico. In tale senso la

---

<sup>1</sup> E. Benvenuto, prefazione a E. Torroja, *La concezione strutturale*, Milano, CittàStudi, 1995.

<sup>2</sup> Il critico inglese Charles Jencks (“Landform Architecture. Emergent in the Nineties”, *Architectural Design*, 9-10, 1997, pp. 15-31) definisce “Complexity Building, Cosmogenic Design, Non-linear Architecture” le opere di architetti quali Peter Eisenman, Frank Gehry e in parte Rem Koolhaas, Daniel Libeskind, Kisho Kurokawa e Nicholas Grimshaw che si richiamano alla “nuova complessità” delle scienze.

<sup>3</sup> L. Quaroni, *Progettare un edificio*, Milano, Mazzotta, 1978 (1977), p.106-145.

<sup>4</sup> Choisy, Milani, Giovannoni, De Angelis-d'Ossat, ecc.

<sup>5</sup> K. Frampton, *Studies in Tectonic Culture*, Cambridge (MA), MIT, 1995.

<sup>6</sup> C. Jencks, *Late Modern Architecture*, Academy Editions, London, 1980.

*concezione strutturale*, maturabile nell'ambito degli insegnamenti di tecnica delle costruzioni, entra di diritto nel discorso architettonico come presupposto linguistico fondamentale e come disciplina costitutiva, accanto alle altre, del processo compositivo. Per conseguire questa consapevolezza però, come a più riprese gli stessi Torroja<sup>7</sup> e Nervi<sup>8</sup> propugnavano, è sufficiente acquisire un bagaglio tecnico-tecnologico, in larga misura qualitativo, facendo affidamento alla sensibilità e all'intuizione strutturale.

E la scienza? Meno evidente è infatti l'influenza nel fare architettura dei modelli meccanico-matematici che sottendono le diverse soluzioni strutturali e non è banale individuarne l'importanza.

Il processo creativo è sostanzialmente di natura sintetica ed intuitiva, piuttosto che analitica e deduttiva e dipende dalle doti naturali del singolo oltre che dall'esperienza acquisita. Torroja<sup>9</sup>, citando Max Sheler, affermava che è importante possedere un insieme di nozioni, assimilate al punto da non ricordarle neppure, che mantengono lo spirito all'erta consentendogli di adattarsi alle circostanze più varie. Assegnando a questo discorso una valenza più generale, è forse possibile azzardare che conoscenze di natura matematica, sedimentate in qualche luogo della memoria, determinino quell'attitudine al ragionamento astratto, logico-deduttivo che, da un lato, può favorire, in misura più o meno cosciente, l'invenzione creativa, dall'altro, può supportarla metodologicamente nell'assunto che questa scaturisca spesso dalla necessità di risolvere un problema complesso poiché condizionato da vincoli di varia natura. In tal senso le matematiche e le discipline strutturali possono svolgere evidentemente un ruolo di grande rilievo metodologico e formativo.

In un'ottica affatto diversa una direzione d'indagine che s'intravede è per esempio quella di esplorare la possibilità di ricorrere a modelli matematici sviluppati per l'analisi di sistemi complessi ed evolutivi al fine di apportare sostanziali contributi innovativi, in un contesto meta-progettuale, ai problemi di pianificazione e gestione delle costruzioni, dei cantieri e dei "luoghi dell'architettura".

L'*analisi strutturale* ("il calcolo") interviene generalmente in una fase successiva al progetto di un'opera di architettura, per verificare e correggere forme e proporzioni che l'intuizione del progettista delle strutture ha preventivamente concepito, ed è demandata agli specialisti secondo un'ottica di divisione del lavoro efficace in termini tecnici e produttivi ma lacerante in termini culturali. Emblematica di questa consolidata prassi progettuale che procede per fasi diacroniche è l'esperienza della progettazione di una delle opere di maggiore impatto architettonico e specificatamente costruttivo degli ultimi anni: il Guggenheim Museum di Bilbao di Frank O. Gehry. Indipendentemente dalla prepotente e indiscutibile seduzione che l'edificio esercita, la traduzione della moltitudine di forme libere in forme suscettibili di essere realizzate ha generato notevoli problemi di natura strutturale. Per esempio la necessità, desunta a posteriori dal calcolo, di utilizzare profili metallici di grande sezione ha imposto l'introduzione di artifici che minano la correttezza della concezione statica e costruttiva dell'edificio. Roberto Gargiani<sup>10</sup>, sfruttando il possibile riferimento al dibattito settecentesco intorno alle "curve velarie" e alle "laminae elasticae" di Jakob Bernouilli<sup>11</sup>, si esprime misurando

"...la tragica distanza tra quella poesia della Scienza Nova e il libero fluttuare del gusto degli architetti. Gehry ha intuito aspetti essenziali per la costruzione di una nuova architettura, ma sembra non possedere il necessario spessore teorico per svilupparli e decantarli. Ben altro più complesso valore avevano gli involucri informi di Gaudì".

Problemi in un certo senso analoghi di parziale incoerenza tra soluzioni formali ed esigenze strutturali si riscontrano in alcune, peraltro seducenti, realizzazioni di ponti strallati di Santiago Calatrava, ove la resa estetica di elementi significativi della costruzione non sempre corrisponde ad una esplicita necessità strutturale.

Altrettanto esemplari, ma stavolta in termini complessivamente positivi, sono state invece l'opera di Frank Lloyd Wright, la cui formazione genuinamente eclettica gli ha consentito di governare con sapienza la progettazione di architetture spesso strutturalmente impegnative ed innovative, e la lezione di Luis Kahn, la cui intensa e interattiva collaborazione con lo strutturista, August Komendant, gli ha consentito spesso di realizzare opere nelle quali tutte le componenti della progettazione sono contemplate secondo un'indiscutibile sintesi armonica. Documentati esempi di collaborazione sono stati inoltre il lavoro di Marcel

<sup>7</sup> E. Torroja, *La concezione strutturale*, Milano, CittàStudi, 1995 (1966).

<sup>8</sup> P. L. Nervi, *Scienza o Arte del costruire?*, Milano, CittàStudi, 1997.

<sup>9</sup> E. Torroja, *op. cit.*, pp. 368-369

<sup>10</sup> R. Gargiani, "Il rivestimento di Frank Gehry, o della Lamina Elastica", *Casabella*, 632, 1996, p. 4.

<sup>11</sup> J. Bernouilli, "Curvatura laminae elasticae...", *Acta Eruditorum*, 1694. Cfr. E. Benvenuto, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Firenze, Sansoni, 1981, pp. 201-204.

Breuer e Bernard Zehruss con Pier Luigi Nervi per la sede dell'Unesco a Parigi, di Renzo Piano e Richard Rogers con gli ingegneri della Ove Arup, in particolare Peter Rice, per il Beaubourg, per il Centro commerciale di Bercy 2 a Parigi e per diversi altri edifici, dei Foster Associates, in particolare per la Hong Kong Bank e per il centro della Renault a Swindon, al cui progetto hanno collaborato gli stessi strutturisti della Ove Arup, di Jorn Utzon con lo stesso Peter Rice per l'opera House di Sidney, di Santiago Calatrava, Bruno Reichlin e Fabio Reinhart per la fabbrica Ernsting in Westfalia.

Si può osservare infine, in un altro contesto, che la dicotomia tra le “due culture” si ripropone con prepotente evidenza negli interventi di restauro e consolidamento. In questo caso infatti l'indagine rivolta alla individuazione degli strumenti più opportuni per il calcolo di fabbriche di rilevanza monumentale, o aventi valore di testimonianze storiche, pur districandosi in un ambito estremamente specialistico e perciò delegabile agli addetti ai lavori, esula dai confini meramente computazionali in quanto si pone come un problema d'interpretazione destinato a condizionare gravemente le scelte d'intervento che non possono e non devono sfuggire ad un controllo di carattere interdisciplinare.

Muovendo dunque dalla ragionevole consapevolezza che la divisione del lavoro produca per lo più risultati non coordinati e imprevedibili, si vuole tentare di capire se sia possibile proporre nelle Facoltà d'Architettura la formazione di una figura professionale di *architetto-strutturista* - distinta da quella del mero *strutturista-costruttore*, dalle competenze essenzialmente qualitative, come pure da quella dello *strutturista-matematico*, con formazione finalizzata al calcolo delle strutture (obiettivo degli insegnamenti delle Facoltà d'Ingegneria) - che possieda, unitamente al retroterra culturale umanistico che tradizionalmente caratterizza la formazione dell'architetto, conoscenze più accurate specifiche nel settore delle scienze applicate, e in particolare meccaniche, dalle quali trarre spunto per l'invenzione di strutture e forme nuove. Tale figura dovrà inoltre possedere gli strumenti necessari per la lettura e l'interpretazione critica delle opere architettoniche fortemente connotate dal punto di vista strutturale<sup>12</sup>.

Per esplorare questa possibilità si analizzano nel seguito le relazioni e le interazioni che la meccanica dei solidi e delle strutture ha avuto nel corso dei secoli con l'“*arte del costruire*”<sup>13</sup> prima e la progettazione strutturale poi. Si ripercorrono quindi brevemente le tappe fondamentali dell'evoluzione della concezione strutturale nel *fare* architettura al fine di comprendere se e in quale misura i *modelli meccanico-matematici* abbiano condizionato e soprattutto possano in futuro condizionare, in ragione della loro generalità e del progressivo affrancamento dalle tipologie costruttive, le *scelte progettuali* spingendosi fino all'invenzione di nuove forme strutturali, contravvenendo così alla pratica consolidata per la quale, per dirla con Salvatore Di Pasquale<sup>14</sup>, la sistemazione teorica dei problemi posti da tali invenzioni avviene solo dopo che si è sperimentata la loro validità.

## **2. Uno sguardo alla storia: le relazioni tra arte del costruire, meccanica e progettazione strutturale nell'architettura dell'Occidente.**

Pur con i limiti di tutte le classificazioni schematiche, appare utile far riferimento ad alcuni periodi macrostorici, per ciascuno dei quali discutere brevemente le suddette relazioni alla luce di alcune figure archetipe (ovvero, per l'epoca contemporanea, di alcuni profili professionali) e dei linguaggi dei vari ambiti<sup>15</sup>.

---

<sup>12</sup> Non è un caso per esempio che Sergio Polano (*Santiago Calatrava*, Milano, Electa, 1997 (1996), pp. 7-8) lamenti la mancanza di strumenti opportuni per una interpretazione appropriata dell'opera di un architetto-ingegnere come Santiago Calatrava.

<sup>13</sup> Condividendo nella sostanza la definizione di Nervi “il costruire è un arte anche in quei suoi aspetti più tecnici che si riferiscono alla stabilità strutturale” (P. L. Nervi, *op. cit.*, p. 9). Del resto già gli antichi Greci usavano un solo termine, “*techné*”, per indicare sia l'arte che la tecnologia. Si parla in seguito di “*arte del costruire*” piuttosto che di tecnica, termine ormai connotato indipendentemente dal primo, perché si vogliono contemplare tutti quegli aspetti della pratica costruttiva che sfuggono ad una sistemazione razionale, non necessariamente formale-matematica, e sono invece governati dall'intuizione creativa. L'esclusione degli aspetti estetici, funzionali e dei riferimenti “culturali” rende inoltre naturalmente necessario l'uso di un termine distinto da “*architettura*”.

<sup>14</sup> S. Di Pasquale, *L'arte del costruire*, Marsilio, Venezia, 1996.

<sup>15</sup> In questo contesto il riferimento ai lavori di Edoardo Benvenuto, *Op. cit.*, e *An Introduction to the History of Structural Mechanics*, Berlin, Springer, 1991, appare naturale.

## 2.1. Antichità, Medioevo e Rinascimento

figure archetipe	<b>strutturisti-costruttori</b> (tecnici-empirici), <b>matematici</b> e <b>meccanici</b> (originariamente filosofi, Aristotele (IV a.C.), e costruttori di macchine, Archimede (III a.C.), Erone (I d.C.), Pappo (IV d.C.), quindi scienziati (XIII, XIV d.C.): Nemorario, Buridano, Guglielmo da Occam, Alberto di Sassonia).
linguaggio	L'arte del costruire non ha un linguaggio strutturato ed è fondata su un bagaglio di regole tecnico-empiriche (Vitruvio). Nel Rinascimento le regole diventano quelle geometriche della "divina proporzione" (Alberti).  La meccanica sfrutta un linguaggio di oggetti (la leva, il cuneo, il piano inclinato).
relazioni	L'arte del costruire e la meccanica si sviluppano in contesti assolutamente distinti. Leonardo intuisce l'utilità della meccanica per studiare problemi relativi alle costruzioni (tiburio del Duomo di Milano).

L'ideale 'artifices' vagheggiato da Vitruvio, quella figura professionale che possedeva istruzione letteraria, conosceva la filosofia della natura, la geometria, l'aritmetica, e s'intendeva di musica, pittura, scultura, astronomia, era destinata a controllare l'intero processo costruttivo, dall'ideazione alla realizzazione, con il ruolo fondamentale di coordinare e supervisionare l'avanzamento del cantiere al fine di derivarne lode e gloria imperitura.

Non è però noto come il livello e la qualità della sua competenza tecnico-scientifica in tema di "tettonica" incidesse sul crescente bagaglio di conoscenze pratiche che consentiva gli accorgimenti più appropriati nella realizzazione dei manufatti più significativi. A giudicare dalle ardite costruzioni, dalle straordinarie invenzioni spaziali (il Pantheon, la Domus Aurea, gli edifici termali, ecc.) e dalla volontà di sfidare continuamente la natura (si pensi per esempio al Vestibolo della Piazza dell'Oro a Villa Adriana) appare comunque certa la piena fiducia nei propri mezzi e la consapevolezza delle proprie capacità.

L'"architetto" era sostanzialmente un tecnico-empirico per il quale le uniche conoscenze considerate inessenziali erano quelle meccaniche, ritenute invece di competenza dei costruttori di "macchine". Non è un caso dunque che la sperimentazione di nuove forme, l'arricchimento del patrimonio tipologico, la conquista del valore plastico dello spazio sia stato direttamente relazionabile al perfezionamento e alla diffusione di nuovi materiali e nuove tecnologie costruttive piuttosto che all'avanzamento delle scienze meccaniche.

Queste ultime, sfruttando sostanzialmente un *linguaggio* costituito da *oggetti* – la leva, il cuneo, il piano inclinato - procedevano invece su binari decisamente distinti e costituivano il bagaglio culturale oltre che degli "ingegneri" meccanici, dei matematici e dei filosofi (della natura).

La stessa aura carismatica doveva conservare il costruttore delle grandi cattedrali gotiche, stando anche alle testimonianze di Villard de Honnecourt<sup>16</sup> che raccomandava ai suoi allievi una cultura enciclopedica che comprendesse conoscenze di geometria, disegno d'architettura (rilievo), tecnica costruttiva, ecc.

<sup>16</sup> Cfr. N. Pevsner, *Storia dell'architettura europea*, Bari, Laterza, 1979 (1959), pp. 57-58.

Era quello il periodo (XIII e XIV secolo) in cui l'interesse speculativo per tutte le manifestazioni dell'ingegno umano promuoveva a passi incerti la conoscenza dei principi fondamentali della meccanica (la teoria dell' 'impetus' con Buridano, il principio d'inerzia con Guglielmo da Occam, il concetto di gravità con Alberto di Sassonia, ecc.) .

La consapevolezza del bagaglio di conoscenze tecnologiche e la codificazione delle regole del ben costruire permea anche la cultura umanistica e rinascimentale. Leon Battista Alberti nel suo trattato si preoccupa di definire i problemi delle costruzioni facendoli discendere dalle regole della 'divina proporzione' fornendo indicazioni dettagliate sulla realizzazione dei vari manufatti e adattando le considerazioni di carattere statico alle particolari esigenze estetiche<sup>17</sup>. L'ottica proposta nel *De Re Aedificatoria*, finalizzata a fornire una giustificazione teorica del costruire piuttosto che all'apprendimento di un mestiere, ha dato peraltro origine a quel modo di pensare "positivo", dei trattati e dei manuali delle epoche successive, che riduce l'evoluzione storica dell'architettura alla storia dell'evoluzione dei tipi costruttivi.

L'interesse per gli sviluppi delle scienze meccaniche sembra affievolirsi, eccetto che per le geniali intuizioni di Leonardo, riguardanti la resistenza e la stabilità dei materiali, la statica degli archi, la composizione di forze. Ed è proprio con Leonardo che, probabilmente per la prima volta, si intuisce l'utilità dei principi e delle regole della meccanica per studiare problemi relativi alle costruzioni<sup>18</sup>.

## 2.2. XVII e XVIII secolo

figure archetipe	<b>strutturisti-costruttori</b> aventi conoscenze matematiche (Guarini, Wren) <b>meccanici-matematici</b> (Galileo, Newton, Leibniz, i Bernouilli, Eulero, Coulomb, Lagrange)
linguaggio	Le regole del ben costruire vengono codificate su trattati e manuali. I grandi costruttori erano esponenti del mondo matematico che ancora utilizzavano il linguaggio della geometria e della stereotomia.  La meccanica si avvale prima del linguaggio geometrico (Galileo) quindi trova completa formalizzazione con il linguaggio analitico (Lagrange). I modelli meccanici si perfezionano e sviluppano nuove potenzialità applicative, ma la "Scienza Nuova" deve ancora percorrere tutto il VII secolo, interamente dedito all'astrazione, prima di incidere in modo determinante nella cultura dei costruttori.
relazioni	La dicotomia tra arte del costruire e meccanica permane: i modelli della meccanica erano ancora molto semplici e le problematiche affrontabili con gli strumenti del calcolo infinitesimale ancora del tutto ignote.

<sup>17</sup> Considerazioni che per esempio lo conducevano a giudicare assolutamente sicuro l'arco a sesto circolare (L. B. Alberti, *L'Architettura (De Re Aedificatoria)*, a cura di G. Orlandi, introduzione e note di P. Portoghesi, Milano, Il Polifilo, 1966, Libro III, cap. XIII, p. 235).

<sup>18</sup> Si pensi agli studi sulla resistenza dei materiali, sulla composizione delle forze, sulla spinta degli archi, ed ai pareri richiestigli riguardo la statica del tiburio del Duomo di Milano (cfr. E. Benvenuto, *Op. cit.*, pp. 46-50 e pp. 324-325, A. Giuffré, *La meccanica nell'architettura*, Roma, NIS, 1986, p.16, pp. 47-48).

I principi e le regole della meccanica iniziano comunque ad essere utilizzati per lo studio di strutture particolari:

- Coulomb (progetto e verifica di archi in muratura) e de La Hire, de Belidor, Mascheroni (progetto di archi murari )
- dibattito intorno alla “miglior figura delle volte” (Bouguer, Bossut,...)

Il XVII secolo è il secolo del naturalismo meccanicista e del grande progresso delle scienze meccaniche e matematiche. Con Galileo l'indagine sulla resistenza dei materiali assume al ruolo di “Scienza Nuova”<sup>19</sup>. Al tradizionale linguaggio di oggetti della meccanica viene sostituito un modello strutturale, la mensola, comprensivo degli aspetti inerenti la materia costitutiva del corpo e al contempo le regole della “divina proporzione”, basate sul concetto di similitudine, vengono abbandonate a vantaggio di quelle fondate su un più razionale dimensionamento geometrico. Le basi della futura scienza del costruire sono così delineate come pure tracciati sono i binari della speculazione successiva sul tema del comportamento deformativo delle strutture.

La dicotomia tra arte del costruire e meccanica permane. I modelli della meccanica erano infatti ancora molto semplici e le problematiche affrontabili con gli strumenti del calcolo infinitesimale ancora del tutto ignote. Le conoscenze di matematica e soprattutto di geometria si rivelano comunque importanti fonti d'ispirazione per gli architetti del tempo. Nella Roma barocca per esempio si trovavano numerosi centri di studi scientifici<sup>20</sup> il cui insegnamento era specificamente rivolto alle applicazioni della geometria all'architettura e alle arti figurative. Un architetto come Borromini, per la cui formazione hanno svolto un ruolo non irrilevante le lezioni del matematico, architetto e ingegnere militare milanese Muzio Oddi, dichiarava alcuni suoi progetti applicazioni di matematica pratica. I grandi costruttori del resto erano spesso esponenti del mondo matematico (Guarini, Wren) che comunque ancora utilizzavano il linguaggio della geometria e della stereotomia piuttosto che quello che si andava configurando dell'analisi matematica. I matematici dal loro canto iniziano ad essere consultati per esprimere pareri statici sui dissesti delle costruzioni<sup>21</sup>.

Nel XVIII secolo la meccanica trova completa formalizzazione nel linguaggio matematico. I modelli meccanici si perfezionano e sviluppano nuove potenzialità applicative, ma la Scienza Nuova doveva ancora percorrere tutto il secolo, interamente dedito all'astrazione, prima di incidere in modo determinante nella cultura dei costruttori. Tale eventualità è stata peraltro resa possibile dalle acquisizioni ottenute, lontano dai banchi delle Accademie, nel settore delle scienze applicate<sup>22</sup>.

---

<sup>19</sup> G. Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e ai movimenti locali*, Leida, 1638.

<sup>20</sup> L'Accademia dei Lincei, il Collegio Romano dei Gesuiti il Convento dei Minimi di Trinità dei Monti.

<sup>21</sup> Cfr. G. Poleni, *Memorie storiche della gran Cupola del tempio Vaticano e de' danni di essa, e de' ristoramenti loro divise in libri cinque*, Padova, 1748, cap. XL.

<sup>22</sup> Si pensi alle numerose indagini dell'età illuminista sul comportamento dei materiali da costruzione le quali hanno condotto alla definizione delle relative leggi costitutive. Tali analisi, originate da quelle di Hooke (1678) e in un primo tempo scarsamente considerate dai fisici teorici, si ritrovano nei sempre più numerosi lavori di scienziati di orientamento sperimentale quali Antoine Parent (1713), Pieter van Musschenbroek (1729), Pierre Simon Girard (1798), ecc. (Cfr. E. Benvenuto, *Op. cit.*, cap. 8).

### 2.3. XIX e XX secolo

figure archetipe

**strutturisti-costruttori** (Soufflot, Labrouste, Viollet-le-Duc, Antonelli, De Baudot, Berlage, Eiffel, Gaudì),  
**strutturisti-matematici** (Navier, de Saint-Venant, Clapeyron, Maxwell, Mohr, Castigliano, Müller-Breslau)

e profili  
professionali  
moderni

e **ingegneri “calcolatori”** che ne derivano (Leonhardt, Komendant, Page)

**strutturisti che “fanno” architettura** (Torroja, Candela, Nervi, Morandi, Musmeci, Buckminster-Fuller, Frei, Calatrava),

**architetti che “contemplano” la struttura** (Perret, Wright, Mies, Kahn, Michelucci, Tange, Piano, Rogers, Foster, Utzon, Calatrava, Koolhaas, Eisenman, Gehry, Libeskind)

linguaggio

L’arte del costruire diventa “scienza dell’arte del costruire” fondata su una disciplina compiutamente connotata dal punto di vista linguistico.

Il linguaggio è quello geometrico della statica grafica, matematico-analitico della meccanica teorica oppure numerico della meccanica computazionale.

relazioni

La matematica e la meccanica trovano una nuova combinazione finalizzata alla razionalizzazione del processo progettuale.

L’arte del costruire e la meccanica diventano aspetti della stessa disciplina (l’ingegneria strutturale) ma buona parte dell’architettura si discosta da questa (divisione del sapere)

L’architettura, con la riapertura delle Accademie (II metà ‘800), viene confinata nell’ambito formalistico.

A seguito del complesso di mutamenti comportati dalla rivoluzione industriale si manifesta la necessità di una disciplina specialistica in materia di strutture adatta a fare fronte alle esigenze della società nascente. Grandi incentivi alla ricerca sono dovuti sia al progresso tecnologico che allo sviluppo dell’iniziativa privata ed al precisarsi del rapporto tra la committenza e i professionisti. Queste componenti sono all’origine di quelle trasformazioni che hanno condotto alla nascita della figura dell’*ingegnere-strutturista*, figura professionale in senso proprio che fonda le sue conoscenze sul bagaglio teorico della meccanica razionale e le applica per la soluzione di problemi strutturali.

Si assiste dunque ad una nuova felice combinazione della meccanica e della matematica, della quale per primo Navier ebbe consapevolezza<sup>23</sup>, finalizzata alla razionalizzazione del processo progettuale. Quest’ultimo diventa suscettibile di sistemazione formale e l’arte del costruire, almeno per quanto concerne l’adozione delle nuove tecnologie e dei nuovi materiali (ferro e c.a.), finalmente si affranca dalla dimensione empirica connotandosi come “scienza dell’arte del costruire”<sup>24</sup>. Ciò conduce al progressivo affermarsi del dominio delle scienze applicate che diventano esclusivo appannaggio della classe borghese emergente. Paradossalmente questo processo relazionato alla “democratizzazione delle scienze”, conduce alla

<sup>23</sup> L. Navier, “Mémoire sur les lois de l’équilibre et du mouvement des solides élastiques, *Mémoires de l’Institut National*, 1827.

<sup>24</sup> S. Di Pasquale, *Op. cit.*, pp. 470-489.

frantumazione del sapere. Da un lato la *meccanica applicata alle costruzioni* riceve, in virtù di una trattazione teorica sempre più rigorosa e del progressivo perfezionamento dei metodi di calcolo, una sistemazione formale come disciplina autonoma definitivamente strutturata dal punto di vista linguistico e in grado di fornire utili strumenti operativi per il progettista di strutture; dall'altro l'*architettura*, con la riapertura delle Accademie nella seconda metà dell'Ottocento, viene confinata nell'ambito meramente formalistico e conserverà questa connotazione parziale almeno fino all'intervento dei maestri del Movimento Moderno ma in larga misura ancora oggi.

La dicotomia tra la cultura architettonica e quella relativa alla realizzazione di strutture è inoltre accentuata sia dalla proliferazione di metodi di calcolo per la soluzione dei problemi strutturali delle costruzioni in acciaio e in cemento armato, sia dai trattati sull'arte del costruire<sup>25</sup>, finalizzati invece a risolvere le questioni delle costruzioni con materiali e tecnologie tradizionali, i quali non presentano i riferimenti "culturali" all'architettura 'tout court'. Nel primo caso l'estrema laboriosità dei calcoli può far perdere di vista l'unitarietà del processo progettuale minando alla radice il processo ideativo. Preoccupazione questa denunciata con calore da quei progettisti, come Torroja e Nervi, che più di altri hanno cercato di colmare, anche attraverso la speculazione teorica, il divario tra la mentalità matematico-deduttiva e quella artistico-intuitiva:

“...l'applicazione della ricerca teorica a base matematica allo studio dell'equilibrio interno dei sistemi resistenti, iniziata nel secolo scorso e via via ampliata fino a raggiungere l'attuale notevole sviluppo, se ha portato un formidabile aiuto alla soluzione dei problemi statici, ha inevitabilmente contribuito a inaridire le fonti dell'intuizione e della sensibilità statica, favorendo quel distacco tra mentalità matematico-tecnica e mentalità intuitivo-artistica che consacrato nella divisione scolastica e professionale tra ingegneri e architetti, va considerato come una delle cause non ultime della crisi in cui da diversi decenni si dibatte l'architettura.”<sup>26</sup>

Nel secondo caso si può rilevare, da un lato, la difficoltà di pervenire a modelli meccanici capaci di prevedere il comportamento di strutture estremamente variegata e costituite da materiali sensibilmente non-lineari, e quindi non inquadrabili nel contesto elaborato dalla cultura elasticista, nonché la fiducia accordata alle potenzialità costruttive sperimentate nei secoli; dall'altro, la scarsa sensibilità dei teorici dell'architettura tecnologica verso gli aspetti più propriamente "umanisti" della progettazione. Tutto ciò ha collocato la riflessione teorica in materia di costruzioni, sull'abbrivio della tradizione trattatistico-manualistica rinascimentale, illuminista e positivista, in un ambito tanto lontano dalla scienza quanto dall'architettura.

## 2.4. Il ruolo attuale di modelli e metodi

In anni più recenti si assiste ad un'inversione di tendenza caratterizzata dal rinnovato interesse degli architetti verso le discipline strutturali. La possibilità di realizzare un felice connubio tra la *concezione strutturale* e la composizione architettonica sembra però sostanzialmente affidata alla genialità di personaggi, i Nervi, i Morandi, i Torroja, i Calatrava, per i quali ciò che conta è l'intuizione e la sensibilità strutturale, l'esperienza personale, la capacità d'interpretare i fenomeni fisici e i meccanismi di funzionamento della struttura nell'assunto che l'analisi teorica possa solo controllare forme e proporzioni assegnate preventivamente. In tale ambito sono naturalmente presenti varie sfumature, dalle posizioni dei costruttori "puri" (Nervi) a quella degli strutturalisti-costruttori (Torroja). Per convinzione, ma anche in quanto figli del loro tempo scientifico, e dei suoi limiti, essi sono generalmente critici - i primi più dei secondi - verso l'impersonale astrattezza e pesantezza dell'apparato matematico dell'analisi strutturale, e piuttosto variamente sensibili - per scelta e per necessità - alle indicazioni progettuali e realizzative fornite dalla sperimentazione su modelli fisici in scala. E' evidente peraltro come un'eccessiva valorizzazione del momento intuitivo e di esperienza personale conduca ad assumere una posizione sostanzialmente elitaria nei confronti della progettazione strutturale.

Oggi, pur privilegiando la primazia del momento intuitivo e sintetico nella concezione strutturale appare temerario affermare, con noncurante sicurezza, che perfino

---

<sup>25</sup> J. B. Rondelet, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, Paris, 1802; A. Choisy, *L'art de bâtir chez les romains*, 1873; E. Viollet-le-Duc, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI au XVI siècle*, Paris, Grond, 1854-1868; D. Donghi, *Manuale dell'architetto*, Torino, UTET, 1904; G. B. Milani, *L'ossatura murale*, Torino, Crudo, 1925-1929 ca., ecc.

<sup>26</sup> P. L. Nervi, *op. cit.*, p. 10.



“...l’ideazione e la progettazione di opere tecnicamente importanti o notevolmente audaci, ben raramente rende necessario ed indispensabile l’intervento di calcoli matematici elevati o perlomeno li richiede in una fase esecutiva completamente separata da quella creativa...”<sup>27</sup>

La questione richiede semmai una formulazione più articolata e complessa, nel senso di considerare quali problemi da porre in modo primario nella meccanica delle strutture e dei materiali quelli relativi all’individuazione consapevole dei *modelli* idonei alla trattazione dello specifico problema, con le associate approssimazioni e limitazioni. Si parla di modelli e non ancora di apparato di calcolo che ne deriva, poiché mentre i secondi possono essere di dominio esclusivo ed operativo dello specialista (strutturista-matematico), i primi devono essere patrimonio anche di un architetto che intenda porsi consapevolmente il problema della concezione di forme nuove o ardite o dell’utilizzo di materiali innovativi.

Un siffatto approccio al problema della progettazione strutturale si è posto per esempio, durante gli ultimi due secoli, ogni volta che la disponibilità tecnologica di nuovi materiali (il ferro e il cemento armato) e di nuove tecnologie produttive ha stimolato la formulazione di idonei modelli per la valutazione del loro comportamento meccanico, e questi hanno consentito a loro volta, attraverso un sostanziale processo di feedback, il concepimento di nuove forme architettonico-strutturali.

Si pensi per esempio ai modelli di travi reticolari e all’impiego delle stesse nella realizzazione di ponti, stazioni ferroviarie ed edifici rappresentativi. Infatti, sebbene la tipologia strutturale fosse da molto tempo nota, la differenziazione estrema delle forme e le possibilità d’impiego delle travature si sono ampliate a dismisura a seguito dei lavori di Cremona, Maxwell, Mohr, Müller-Breslau. Stessa, ma non altrettanto eclatante, sorte hanno avuto i modelli di travi su più appoggi, travi Gerber e similari. Sembrerebbe proprio che il tipo strutturale sia stato una diretta conseguenza dell’invenzione del modello meccanico il quale ha quindi svolto la funzione di suggerire e stimolare la ricerca architettonica sul tema. Analoghe e più ardite invenzioni sono scaturite poi dall’impiego della tecnologia del cemento armato, ma in tale caso il modello meccanico di riferimento ha avuto essenzialmente il ruolo di supporto tecnico-scientifico a posteriori all’invenzione tecnologica.

Si pensi anche alla filosofia e alla pratica degli interventi di consolidamento e restauro del costruito storico, entrambe pesantemente condizionate dalla disponibilità e dalla scelta di idonei modelli e metodi di calcolo.

Si pensi infine all’opera di quegli architetti contemporanei, che meritano l’appellativo di “sperimentatori”, le cui soluzioni compositive non sarebbero concepibili senza ricorrere all’uso di modelli agli elementi-finiti e alla loro implementazione computazionale. Tali modelli, essendo orientati alla generalità delle applicazioni e dunque al drastico superamento della specializzazione tipologica, possono fornire gli strumenti operativi per la sperimentazione e dunque per l’innovazione delle forme. Possibilità questa esplorata in passato attraverso la sperimentazione al vero, prassi consolidata nell’architettura Romana, o su modelli di laboratorio. Non è necessario ricordare i modelli della cappella di Santa Coloma a Barcellona di Gaudì, della Chiesa di San Marino di Michelucci, delle tensostrutture di Monaco di Frei o dell’Opera House di Sidney di Utzon<sup>28</sup> per intuire che la realizzazione di certe architetture sia fortemente condizionata da tale possibilità e che l’uso del calcolatore la renda esperibile da chiunque ampliandone a dismisura le conseguenze. Basti citare le parole di un commentatore dell’architettura informale contemporanea, Cecil Balmond:

“Il mondo è complesso, cambia velocità, procede a sbalzi. Tendiamo a fuggire di fronte a queste difficoltà perché costringono la mente a ragionamenti complicati, perché la matematica è difficile. Ma la potenza dei moderni strumenti di calcolo sta rendendo possibile ciò che non lo è mai stato: non siamo più costretti a ragionare in modo schematico, né limitati in un concetto derivato di linearità. Abbiamo a disposizione una ricchezza di cui dovremmo rallegrarci, una ricchezza che dobbiamo esplorare”<sup>29</sup>.

Appare dunque possibile oggi per uno strutturista avere la duplice valenza di costruttore e matematico ed al tempo stesso “fare” architettura? E’ proponibile una figura di *architetto-strutturista* capace di recuperare la figura dell’eclittico ‘artifices’, arricchita delle specifiche competenze fisico-matematiche

---

<sup>27</sup> *Ibidem*, p. 29.

<sup>28</sup> S. Di Pasquale, *Op. cit.*, pp. 69-87.

<sup>29</sup> C. Balmond, “New structure and the informal”, *Lotus* 98, 1998, p. 76.

accumulatesi nei secoli, e contribuire a risolvere, almeno in questo contesto, l'annoso agone tra le due culture?

### 3. Verso l'architetto-strutturista

Ancorché imprescindibili nel processo formativo di profili professionali maturi destinati ad operare consapevolmente nei settori dell'architettura e dell'ingegneria civile e ambientale, *metodi e modelli meccanico-matematici* svolgono tuttavia un ruolo sostanzialmente differente nelle due facoltà in relazione agli specifici scenari culturali quali si sono delineati, anche in Italia, negli ultimi decenni. La Facoltà di Ingegneria, attraverso un processo che dura ormai da più di trenta anni e che ha avuto varie concause (l'oggettiva crescente difficoltà dei problemi scientifico-tecnici, il rinnovato ruolo storico giocato dalle discipline matematiche di tipo applicato, il rilievo sempre maggiore delle "nuove" ingegnerie, la crescente divaricazione fra teoria e pratica in ambito accademico, ecc.), tende ormai a privilegiare il concetto e la pratica dell'*analisi* rispetto alla ricerca della *sintesi*, ovvero - in termini più prossimi alla professione - la cultura della *verifica* rispetto a quella del *progetto*. I recenti tentativi di recupero del momento sintetico-progettuale messi in atto attraverso varie iniziative (non ultima quella connessa alla più generale ristrutturazione dei corsi di insegnamento universitario secondo il modello in serie) non possono comunque prescindere dalla radicata strutturazione mentale dei docenti e degli allievi ingegneri.

Da questo punto di vista, la situazione delle Facoltà di Architettura è in buona misura diversa, in relazione sia ai connotati di forte caratterizzazione professionalizzante del relativo progetto formativo, sia alla recente riaffermazione del ruolo giocato dalla cultura del progetto nella formazione stessa. In un tale contesto, metodi e modelli della meccanica delle strutture e dei materiali vanno dunque calati nella cultura del progetto quali processi generatori consapevoli, proprio in quanto scientificamente fondati, delle possibili innovazioni di forme e materiali dell'architettura.

La sfida dell'*architetto-strutturista* dovrebbe consistere nell'integrare, ove possibile, nel concepimento delle proprie opere le indicazioni "modellistiche" (ottenute da modelli analitico-numeriche e fisico-sperimentali) con le altre conoscenze ("umanistiche" e "tecnologiche") che da sempre risiedono nel suo bagaglio culturale, attuando quel processo iterativo di concezione ed analisi della fenomenologia di comportamento che caratterizza una qualsiasi operazione non banale di composizione strutturale condotta nell'ambito di un processo di progettazione organica. È il caso di sottolineare che l'architetto-strutturista non vuole caratterizzarsi come un architetto ad una dimensione né sostituirsi alla figura, ormai fortemente connotata, dell'architetto "totale", bensì intende delinearci come una figura professionale il cui fine è il progetto di architetture nelle quali il tema strutturale è dominante ovvero il progetto di strutture che, affrancandosi dalla mera auto-celebrazione retorica e di maniera, assumano il significato di architetture.

Ad un architetto-strutturista non può certamente mancare il gusto ed il senso della comprensione e della consapevolezza del comportamento meccanico, quali le intendevano non solo progettisti come Torroja - più di Nervi e Morandi - ma anche uomini di scienza come Colonnetti<sup>30</sup>. Al contempo, peraltro, siffatto strutturista deve essere in grado di eludere i pericoli, spesso radicati nella cultura del moderno *costruttore-strutturista* (*strutturisti che fanno architettura o architetti che contemplano la struttura*) di utilizzare e recepire più o meno acriticamente l'ingente apparato reso disponibile dalla moderna meccanica computazionale, nonché i risultati con essa ottenibili. Ciò può realizzarsi solo attraverso l'uso consapevole delle teorie tecniche e delle matematiche di approssimazione che connotano e distinguono la "scienza applicata" rispetto alla "scienza pura", l'importanza storico-scientifica ed operativa delle quali va dunque salvaguardata, opportunamente integrandola con le acquisizioni "esatte" rese possibili dalla meccanica computazionale.

La formazione culturale di tale architetto dovrà infine essere tale da consentirgli di sfuggire anche i non minori pericoli dello *strutturismo-costruttivo*, dilagato nel periodo dell'utopia tecnocratica - dei Fuller, degli esponenti del gruppo Archigram, dei Frei e delle varie avanguardie degli anni sessanta - e ancora in una certa misura presente nelle più recenti realizzazioni High-Tech - del primo Piano, di Rogers e di Foster -, che ha favorito e giustificato il formalismo antitecnocratico dei fratelli Krier, la reazione di Ungers<sup>31</sup> nonché

<sup>30</sup> G. Colonnetti, *Scienza delle Costruzioni*, Torino, 1941.

<sup>31</sup> "L'idea errata di architettura come arte legata all'ingegneria è un residuo del determinismo del XIX secolo. [...] L'architettura non è frutto solo di calcoli ma anche di pensieri e di idee." (O. W. Ungers, "Osservazioni sui miei progetti ed edifici", in *Il polo positivo*, Firenze, Electa, 1988, p. 60).

l'atteggiamento nostalgico verso il passato del gruppo "La Tendenza", minando così gravemente la possibilità della concezione strutturale di diventare sempre più parte integrante della composizione architettonica.

In virtù della loro tradizione, della loro preferenziale vocazione alla comprensione qualitativa dei fenomeni, del loro minor fideistico apprezzamento dello strumento e del risultato informatico, sono proprio le Facoltà di Architettura a poter giocare un ruolo non banale nel preservare e valorizzare, opportunamente modernizzandola, l'attitudine ad una sintesi strutturale che recepisca in maniera critica e selettiva sia le acquisizioni razionali dell'*analisi* che quelle intuitive del *processo creativo*. Intendendo per sintesi sia la capacità di ideazione teorica basata sull'uso consapevole di modelli e teorie tecniche, sia la pratica di sviluppo della progettazione architettonica integrata, sottraendo in tal modo il progetto strutturale dell'architettura, proprio in virtù del bilanciamento fra intuizione e rigore, a quel pericolo di deriva retorica e manierista di tipo high-tech che lamentava Benvenuto:

"Certo non si possono dimenticare i valorosi architetti del tempo presente che ancora indugiano in tali giuochi prestigiosi, da Foster a Piano, da Calatrava a Rogers...: ma il loro *novum* è memoriale, richiamandosi ai fasti di quella tecnica che parlava in idioma meccanico; e il loro meccanismo non tende più all'esternazione della "verità nuda", anzi declina alla perifrasi ornamentale, richiede l'esagerazione della figura retorica, esprime l'alto ma drammatico profilo del manierismo."<sup>32</sup>

Si potrebbe così rimuovere la preoccupazione, dello stesso Benvenuto, che nessuna realizzazione strutturalmente impegnativa possa ancora destare sorpresa perché con l'utopia la meta è già stata raggiunta e il 'totum novum' che fu di Nervi e Torroja è diventato oggi un 'déjà vu'. Del resto la storia e l'analisi dell'architettura insegnano che la struttura non necessita dell'evidenza della "verità nuda" per essere rivelata. In modo all'occorrenza manifesto oppure celato, senza gridare, essa deve ristabilire il suo ruolo di primaria importanza nella progettazione, cessando tuttavia di ritenere che sia sufficiente parlare il linguaggio della statica per avere garanzie estetiche, e divenire architettura integrandosi armonicamente con il tutto. Potremmo così augurarci con Pierluigi Nicolin<sup>33</sup>

"...che sia giunto il momento di un nuovo incontro tra architetti e ingegneri nel mutato contesto delle scienze e del pensiero architettonico, che riscopra la fertilità di questo rapporto e consenta di avviare con mezzi nuovi il discorso sulle antiche questioni del costruire."

E' questa la scommessa dell'architetto strutturista.

---

<sup>32</sup> E. Benvenuto, in E. Torroja, *Op. cit.*, p. xxviii.

<sup>33</sup> P. Nicolin, "Ingegneria nell'architettura", Lotus 45, 1985, p. 6.