



HAL
open science

Linee di struttura, linee di pensiero: 18 modi di disegnare le nervature isostatiche con Pier Luigi Nervi

Louis Vitalis

► To cite this version:

Louis Vitalis. Linee di struttura, linee di pensiero: 18 modi di disegnare le nervature isostatiche con Pier Luigi Nervi. Galileo, 2022, 259, pp.458-483. <hal-03912187>

HAL Id: hal-03912187

<https://hal.science/hal-03912187v1>

Submitted on 3 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

GALILEO

Rivista di informazione, attualità e cultura degli ingegneri di Padova
Fondata nel 1989 www.collegioingegneripadova.it

Direttore responsabile
ENZO SIVIERO

duecentocinquantotto

Speciale Galileo bridges

a cura di:
Patrizia Bernadette Berardi



RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia l'**Istituto Giapponese di Cultura in Roma-Ambasciata del Giappone presso la Santa Sede** per il supporto linguistico e logistico alla realizzazione dell'intervista del duo Co-Rai - **dott.ssa Isabella Lapalorcia Istituto Giapponese di Cultura in Roma** per la traduzione dal giapponese dei testi - **Association Valorisation du Viaduc du Viaur, Anne Sénémaud** per il contributo storico e fotografico del Viadotto di Paul Bodin - **INBAR Istituto Nazionale di Bioarchitettura, ing. Giacomo Segantini** per la riproduzione integrale della registrazione intervista Salvo Faraci - **Rino Rubino** per il progetto grafico e impaginazione di Gbridges

Un sentito ringraziamento a tutti gli autori che hanno contribuito con il loro prezioso supporto alla realizzazione di questo speciale Galileo dedicato ai ponti

Enzo Siviero

Patrizia Bernadette Berardi



Anno XXXIV
n. 259
Giugno - Luglio 2022

in copertina:
Pelješac Bridge, Croatia
photo courtesy of
China Road and Bridge
corporation - CRBC

Direttore responsabile Enzo Siviero • **Condirettore** Giuliano Marella
• **Vicedirettore**, Michele Culatti • **Editore** Collegio degli Ingegneri
della Provincia di Padova, Piazza G. Salvemini 2, 35131 Padova,
tel-fax 0498756160, e-mail segreteria@collegioingegneripadova.it,
www.collegioingegneripadova.it, P.IVA: 01507860284. **Presidente**
Fabio Tretti • **Stampa** Berchet. Ingegneria di stampa - Padova- Via
Scrovegni, 27 - 35131 • La rivista è pubblicata on-line nel sito: www.collegioingegneripadova.it • **Autorizzazione** Tribunale di Padova
n. 1118 del 15 marzo 1989 • **Comitato di redazione** Adriano
Bisello, Alessia Mangialardo, Valentina Antonucci, Rubina Canesi •
Coordinamento editoriale Rinaldo Pietrogrande • **Curatore numeri
Speciali** Patrizia Bernadette Berardi • **Corrispondente da Roma**
Patrizia Bernadette Berardi • **Avvertenze** La Direzione non si assume
alcuna responsabilità per eventuali danni causati da informazioni
errate. Gli articoli firmati esprimono solo l'opinione dell'autore e
non impegnano in alcun modo né l'editore né la redazione • **Tutela**
della privacy i nominativi inseriti nella nostra mailing list sono
utilizzati esclusivamente per l'invio delle nostre comunicazioni e
non sarà ceduto ad altri in virtù del nuovo regolamento UE sulla
Privacy N. 2016/679. Qualora non si desideri ricevere in futuro altre
informazioni, si può far richiesta all'editore, Collegio degli Ingegneri
di Padova,
scrivendo a: segreteria@collegioingegneripadova.it

• **Nome generali e informazioni per gli autori:** Galileo pubblica articoli di ingegneria, architettura, legislazione e normativa tecnica, attualità, redazionali promozionali • **Rivista scientifica ai fini dell'Abilitazione Scientifica Nazionale per le aree CUN 08 e 11.** Referenti Aree CUN Francesca Sciarretta (Area 08), Marco Teti (Area 10), Enrico Landoni e Martina Pantarotto (Area 11), Carlo Alberto Giusti (Area 12)

• **Note autori:** i testi degli articoli forniti in formato digitale non impaginato e privi di immagini devono contenere: titolo dell'articolo; sottotitolo; abstract sintetico; nome e cognome dell'autore/i; titoli accademici/carica/ruolo/affiliazione e eventuale breve Curriculum professionale dell'autore/i (max 60 parole); note a piè di pagina; indicazione nel testo della posizione dell'immagine; bibliografia (eventuale). Didascalie delle immagini in formato digitale con file separato. Per gli articoli il numero orientativo di battute (compresi gli spazi) è circa 15.000 ma può essere concordato. Le immagini, numerate, vanno fornite in file singoli separati dal testo in .jpg con definizione 300 dpi con base 21 cm; non coperte da Copyright, con libera licenza o diversamente, accompagnate da liberatoria e in ogni caso con citazione della fonte. **Trasmissione:** gli articoli vanno trasmessi michele_culatti@fastwebnet.it e a enzo.siviero@esap.it e se il materiale supera i 10MB si chiede di trasmetterlo agli stessi indirizzi con strumenti di trasmissione telematica che consentano il download di file di grandi dimensioni. Le bozze di stampa vanno confermate entro tre giorni dall'invio.

L'approvazione per la stampa spetta al Direttore che si riserva la facoltà di modificare il testo nella forma per uniformarlo alle caratteristiche e agli scopi della Rivista dandone informazione all'Autore. La proprietà letteraria e la responsabilità sono dell'Autore. Gli articoli accettati sono pubblicati gratuitamente.

• **Iscrizione annuale al Collegio, aperta anche ai non ingegneri:** 10,00 € per gli studenti di Ingegneria, 20,00 € per i colleghi fino a 35 anni di età e 35,00 € per tutti gli altri. Il pagamento può essere effettuato con bonifico sul c/c IBAN IT86J0760112100 000010766350 o in contanti in segreteria. •

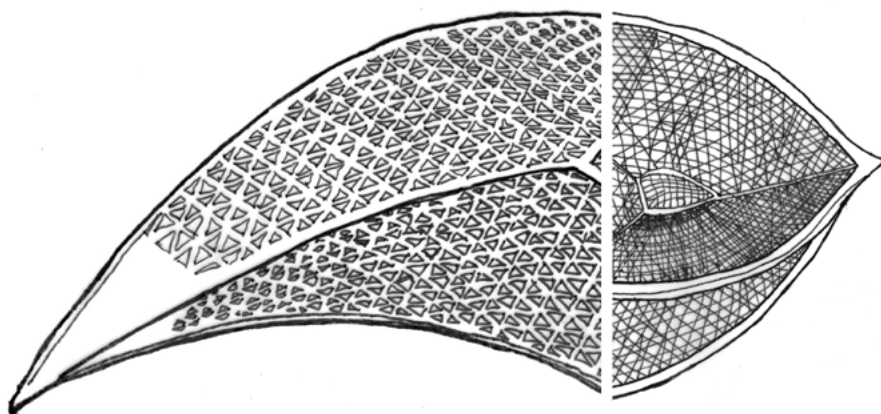
Contenuti

Enzo Siviero EDITORIALE	12
Patrizia Bernadette Berardi "YOU MUST BE BOLD, BRAVE, AND COURAGEOUS AND FIND A WAY... TO GET IN THE WAY" JOHN LEWIS	24
Autori Vari DIBATTITO GBRIDGES	39
Francesco Ferrara COSTRUIRE PONTI: E' DI DESTRA O DI SINISTRA? UN DIALOGO IMMAGINARIO TRA THOMAS PAINE E GIORGIO GABER	55
Enzo Siviero - Roberto Di Marco IL NUOVO PONTE DEI CONGRESSI A ROMA INTERPRETARE LA STORIA	58
Alessandro Stocco - Enzo Siviero - Gianrico Tamiazzo PONTE PICCOLI ANGELI SUL CANALE GORZONE A CAVARZERE (VE)	80
Anna Carulli UN PONTE PER RISTABILIRE UNA CONNESSIONE E RICUCIRE IL LEGAME TRA L'UOMO E IL SUO AMBIENTE DI VITA	94
Intervista di Enzo Siviero e Patrizia Bernadette Berardi a Salvo Faraci LA DUPLICE ESPRESSIONE DELL'ARTE COME PONTE TRA COSCIENZA COLLETTIVA E COSCIENZA INDIVIDUALE. HEIDEGGER E IL PONTE ESISTENZIALE.	117
Massimo Ilardi GENOVA PRIMA DEL PONTE	131
Ignazio Becchi IL SACRILEGIO DEI PONTI	135
Roberto Di Maria PONTE CORLEONE, LA STORIA, LE DIMENTICANZE, LA TRISTE ATTUALITA'	155
Carmelo Russo L'ACQUEDOTTO BISCARI DI ADRANO: LEGGENDA, IDRAULICA E ARCHEOLOGIA	167
Alfredo La Manna IL PONTE BISCARI	181
Nicola Chiriano - Giuseppe Scarpino CATANZARO - IL PONTE MORANDI	194
Enzo Siviero - Alessandro Stocco PONTE CELESTINO V STUDIO DI FATTIBILITA' PRELIMINARE	202
Enzo Siviero - Patrizia Bernadette Berardi WOMEN LEADING THE WAY	209
Fausto Giovannardi PONTE SUL BIEDANO, BLERA (1935-1937) VITERBO	235
Fausto Giovannardi IL PONTE DI SERGIO MUSMECI SUL FIUME BASENTO (1967-1975) POTENZA	241

Fausto Giovannardi PONTE PEDONALE SUL BISENZIO (1935) PRATO	257	Mario de Miranda LA COSTRUZIONE DEL PONTE SIGNATURE BRIDGE SUL FIUME YAMUNA A DELHI	492
Fausto Giovannardi DUE PONTI ALLA MAILLART SUL FIUME CALORE (1946-1947) BENEVENTO	265	Bicheng Tang, Xuefeng Wang EXTRA-LONG STEEL PILES PRODUCTION AND DRIVING BEARING CAPACITY ANALYSIS OF EXTRADOSED BRIDGE MAINLAND – PELJEŠAC, CROATIA	514
Enzo Siviero HO INCONTRATO UN PONTE DAL LAGO DI CAMPOTOSTO EMERGE IL PONTE DI MASCIONI. IL GENIUS LOCI SI È FINALMENTE PALESATO	269	Antonio Fidelibus IPOTESI SUL CEDIMENTO DEL PONTE MORANDI	534
Matteo Felitti - Francesco Oliveto LA ROBUSTEZZA STRUTTURALE DI UN PONTE MULTIARCATA IN MURATURA SOGGETTO A CARICHI MOBILI	273	Emanuele Codacci Pisanelli PONTI ESTRADOSSATI IL PONTE DI KOROR IN POLINESIA	540
Paolo Clemente LA STORIA DELL'UMANITÀ NELL'EVOLUZIONE DEI PONTI	287	Emanuele Codacci Pisanelli IL PONTE MOBILE SUL TEVERE A FIUMICINO	545
Cristina Florenzano - Antonio Filardi THE ANCIENT MASONRY BRIDGES OF RIVELLO	316	Emanuele Codacci Pisanelli IL PONTE CON LE BRETELLE	558
Vito Segantini IL "PONTE DI MURO" A PIETRATAGLIATA SULLA PONTEBBANA	330	Emanuele Codacci Pisanelli LA GRANDE INGEGNERIA ITALIANA GIORGIO BELLONI E IL PONTE DI PUNTA PENNA	560
Annalisa Lia PONTE NUOVO DI ALPIGNANO	345	Emanuele Codacci Pisanelli LA GRANDE INGEGNERIA ITALIANA MASSIMO MAJOWIECKI	561
Enzo Siviero - Cristiana Di Luzio DUE PONTI STORICI IN PROVINCIA DI TERAMO TWO HISTORICAL BRIDGES IN THE PROVINCE OF TERAMO	357	Emanuele Codacci Pisanelli LA GRANDE INGEGNERIA ITALIANA IL PROF. GIORGIO NICOLA SINISCALCO	563
Federico Bulfone Gransinigh I PONTI SULL'ATERO, TRA PASSATO E PRESENTE. ECHI E TESTIMONIANZE MATERICHE LUNGO UNA VALLE FLUVIALE ABRUZZESE.	372	Patrizia Bernadette Berardi IL VIADOTTO DI MILLAU E LO SVILUPPO ECONOMICO DELL'AVEYRON	566
Angelo Campo UN INCIPIT PROGETTUALE DEL "PONTE DEL MARE" DI PESCARA	417	Claudio Mazzanti LA COSTRUZIONE DEI PONTI IN PERÙ DALLA TRADIZIONE INCAICA ALLE ESPERIENZE CONTEMPORANEE	583
Angelo Campo UN PONTE CICLOPEDONALE SUL TORRENTE ARABONA	422	Marco Casamonti KISS BRIDGE - PHU QUOC - VIETNAM	642
Marcello Arici IL PONTE SPAGNOLO DI AGATINO DAIDONE SUL TORRENTE S. LEONARDO	428	Renato Santoro IL COSTRUTTORE DI PONTI: ANGHEL SALIGNY A CERNAVODĂ IN ROMANIA	652
intervista al duo Co-Rai di Patrizia Bernadette Berardi CO-RAI, IL SIGNIFICATO DEL PONTE ATTRAVERSO LA MUSICA, IN GIAPPONE	440	Elisabetta Tonello I PONTI NELLA COMMEDIA DI DANTE	662
Anne Sénémaud VVV, VALORISATION DU VIADUC DU VIAUR ET DES OUVRAGES DE PAUL BODIN UNE JEUNE ASSOCIATION QUI CRÉE DES LIENS	449	Stefano Mitrione TUTTI NOI SIAMO COSTRUTTORI DI PONTI, REALI O VIRTUALI CHE SIANO.	674
Louis Vitalis LINEE DI STRUTTURA, LINEE DI PENSIERO: 18 MODI DI DISEGNARE LE NERVATURE ISOSTATICHE CON PIER LUIGI NERVI	458		
Arianna Minoretti STRATEGIE PER IL FUTURO NELLA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE	484		

LINEE DI STRUTTURA, LINEE DI PENSIERO: 18 MODI DI DISEGNARE LE NERVATURE ISOSTATICHE CON PIER LUIGI NERVI

Louis Vitalis



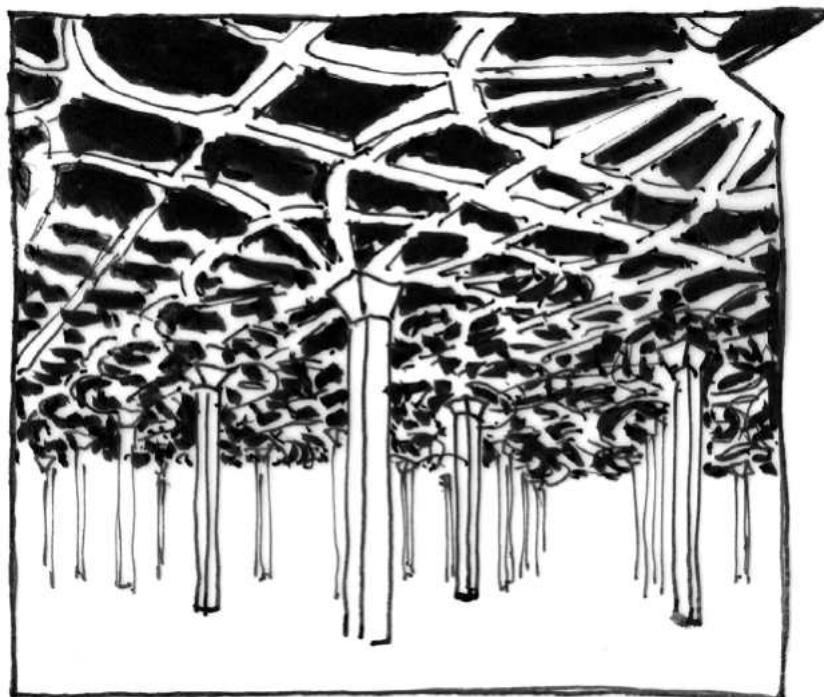
Paragone tra la struttura del CNIT di Nervi (Parigi, 1953-56) quella di un radiolariano (collage L.Vitalis).

Il pensiero ha questa bella capacità di stabilire relazioni, di tracciare linee tra le cose; linee che separano, ma anche linee che collegano. Anche l'arte della costruzione, a suo modo, collega materiali, unisce punti nello spazio e attraversa vuoti. Pensare, in un certo senso, significa gettare ponti: ponti metaforici, perché non si spiega il pensiero osservando la costruzione, né viceversa. Ciò che è importante per me, piuttosto, è notare come, per pensare agli edifici che costruiamo, per sviluppare una riflessione in architettura e ingegneria, siamo così spesso portati a costruire ponti. Ma tutti i ponti sono buoni da attraversare? Se si è inclini alla ricerca scientifica - e quindi, in qualche modo, alla verità - il ponte deve essere costruito secondo una certa arte che ne garantisca la solidità, anche se solo temporaneamente, anche solo per permettere ad alcune persone

di passarci sopra e consolidare l'edificio collettivo della conoscenza, anche se ciò significa a volte liberarsi delle travi incrinatae.

L'opera di Pier Luigi Nervi, come spesso accade con le opere dei grandi creatori, fa riflettere molti ricercatori. Si costruiscono ponti che collegano le strutture dell'ingegnere italiano a diversi oggetti. Seguendo l'antica linea che lega l'architettura alla natura, alcuni vedono negli edifici di Pier Luigi Nervi un design ispirato agli organismi viventi, seguendo quindi la stessa linea che Paolo Portoghesi aveva così ampiamente tracciato. Con il nome "biomimetica", tuttavia, alcuni di questi autori, soprattutto nel mondo anglosassone, cercano di distinguersi, rivendicando un approccio innovativo basato sulle scienze biologiche e le virtù dell'ecologia. Michael Pawlyn, Göran Pohl, Werner Nachtigall e Petra Gruber sono solo alcuni dei nomi da citare. Ma è il pensiero e la sua dinamica che importano più dei nomi. In fondo, non sarebbe neanche il caso di discuterne se non si avventurassero a riscrivere la storia, sostenendo che qui Pier Luigi Nervi si è ispirato a una foglia di ninfea per progettare la cupola del Palazetto dello Sport di via Flaminia, che là si è lasciato guidare da la forma di una microalga, la diatomea, per progettare la cupola del Palazzo dello Sport all'EUR, e che altrove ha usato i principi strutturali di un radiolariano per il suo studio non realizzato per il CNIT di Parigi. Un approfondimento dei testi biomimetici che citano Pier Luigi Nervi rivela un curioso bestiario: foglie di piante, il tessuto spugnoso di un femore reciso, baccelli di semi di papavero, l'osso del bacino di un uccello, un tronco d'albero...

Cosa pensare di questi ponti? Cosa significa, dire che Pier Luigi Nervi si è ispirato a una foglia di ninfea? Quale intelligenza progettuale abbiamo così raggiunto? Per cercare di capire qualcosina di queste ampie questioni, intendo percorrere le linee seguite da Pier Luigi Nervi nel corso dei suoi progetti. Per questo, dovremo lasciare per un momento le astrazioni metaforiche ed entrare in una descrizione più fattuale dei progetti. Mi soffermerò solo sulla questione del tessuto osseo spugnoso che si suppone abbia un ruolo nella progettazione dei solai a fungo dei sotterranei del Lanificio Gatti, a Roma, lungo la via Prenestina. Lo studio si è limitato ai solai con nervature isostatiche su piani orizzontali (quelle su piani curvi e verticali saranno quindi escluse).



Lanificio Gatti, piano semi interrato, Roma, Pier Luigi Nervi, 1953.

Condizioni di possibilità delle linee

Quando seguiamo queste linee che collegano i progetti tra loro nell'ordine della loro genesi, siamo condotti prima di tutto agli antecedenti del disegno dei solai del Lanificio Gatti. Naturalmente, risalire a un'origine assoluta è un progetto illusorio, quindi mi limiterò a porre una problematica specifica del pensiero di Pier Luigi Nervi che costituisce le condizioni di possibilità di questi lignaggi: in che modo i nuovi materiali liberano l'universo delle forme? Cosa possiamo fare con questa libertà progettuale?

I solai a nervaturee che seguono le linee isostatiche dei momenti principali (abbreviate qui come "solai a nervature isostatiche" per comodità) sono il risultato di un'innovazione che è, in primo luogo, materiale: non sarebbe esistita senza il ferrocemento, che Pier Luigi Nervi ha sviluppato negli anni della guerra e registrato il 15 aprile 1943 (brevetto n. 406296). Per Pier Luigi Nervi, il cemento armato ha aperto *de jure* nuove possibilità formali che erano limitate *de facto* dalle casseforme di legno a forma di parallelepipedo. Il ferrocemento è un tipo di cemento armato che contiene più metallo (rete) che cemento e viene utilizzato in lastre molto sottili. La malta di cemento non è gettata, ma pressata nella rete, il che dispensa dalla cassaforma di legno geometricamente limitata e apre una libertà morfologica.

Questo rende possibile l'utilizzo di solai gettati insieme alle travi sottostanti. Queste travi, che possono avere geometrie molto libere, formano dei soffitti a cassettoni che possono essere lasciati a vista. Le casseforme in ferrocemento possono essere riutilizzate per riprodurre solai identici, e a volte sono anche fissate su delle impalcature mobili, come nel caso del Lanificio Gatti. Il sistema raggiunge così una certa efficienza nel rapporto costo/effetto che importava tanto a Pier Luigi Nervi.

Anche se il ferrocemento apre una grande libertà morfologica, questo non è una ragione sufficiente per esplorare tutte le forme possibili. Il disegno delle linee isostatiche permette di distribuire la materia dove è più utile. È un'ottimizzazione. Le nervature seguono due famiglie di curve che si intersecano ad angolo retto, si tratta dalle traiettorie delle tensioni principali in un corpo considerato in due dimensioni (sull'argomento vedere gli articoli di Tullia Iori). Questo disegno risponde anche a una domanda percettiva. Agli occhi di Pier Luigi Nervi, le linee danno un'espressività estetica all'edificio. Bisogna anche considerare che queste linee limitano una libertà di scelta, evitando ornamenti inutili, che l'ingegnere aborrisce. Il ferrocemento ci permette di liberarci dalla cassaforma di legno con le sue forme a parallelepipedo. Ma questa libertà non significa che sia usata in modo sfrenato. Poiché le possibilità formali si moltiplicano, le linee isostatiche risolvono il problema della scelta formale. La forma specifica viene poi generata in funzione dei dati di ogni progetto.

Nascita delle linee

Questo incontro tra innovazione dei materiali e progettazione strutturale ha aperto un fertile universo di pensiero che subirà diverse variazioni, di cui il solaio a nervature isostatiche del Lanificio Gatti è solo un momento. La ricostruzione di queste variazioni è anche visibile nell'illustrazione cui allegato.

Il primo progetto della sequenza è, infatti, il progetto per la manifattura di tabacchi di Bologna, che risale al concorso del 1948. Pier Luigi Nervi ha progettato una variante con nervature isostatiche che poggiano su una griglia di travi periferiche di 8 x 5,8 metri. Questo modo espressivo di creare solai permette una sorta di variazione, un'unità qualitativa, in un sistema estremamente ripetitivo, quello di un piano globale di 210 x 24 metri ripetuto su cinque piani; cioè, oltre 300 solai identici. Purtroppo è stata realizzata una struttura più semplice e più ortogonale. In questa fase, quando le idee fervevano,

si prevedevano molteplici possibilità. Alcune sono state poi fissate in un brevetto. Il brevetto n.455678 intitolato "Perfezionamento nella costruzione di solai, volte, cupole, travi-parete e strutture portanti in genere a due o a tre dimensioni, con disposizione delle nervature resistenti lungo le linee isostatiche dei momenti o degli sforzi normali" è stato registrato il 23 luglio 1949 dalla società Nervi & Bartoli Anonima per Costruzioni. L'ingegnere Aldo Arcangeli, impiegato della società, è citato come inventore. Tra le molte applicazioni previste dal brevetto, ha sviluppato, per esempio, un progetto a-contestuale per un solaio a forma di fungo, il primo nella linea.

Dopo questi primi esperimenti, lo studio Nervi progettò nel 1951 un solaio a nervature isostatiche per la manifattura di tabacchi di Roma, basata sul principio del solaio a fungo. Ed è solo a questo punto che nasce il Lanificio Gatti, al quale Pier Luigi Nervi lavorò dal 1951 al 1953, secondo i documenti dell'archivio. Si tratta di un sistema di solai a fungo molto simile al brevetto, sviluppato su una griglia di pali di 5 x 5 metri. Tuttavia, il numero di nervature è ridotto per adattarsi alle dimensioni dell'installazione e evitare cassettoni troppo piccoli.

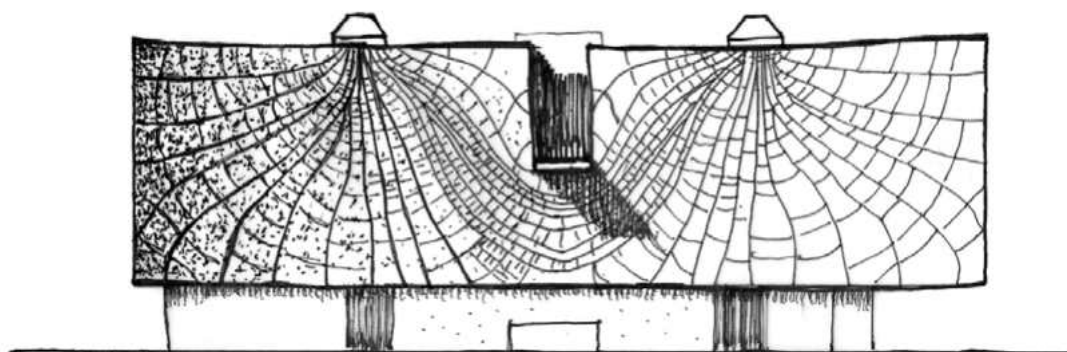
Il brevetto del 1949 menziona il modello di struttura ossea: "Esempi di tale genere si trovano numerosi in natura, e classico tra essi è quello delle trabecole ossee, osservato per primo dal Culmann." (brevetto n°455678, Archivio centrale dello stato, p. 2). Il cosiddetto tessuto trabecolare, o spugnoso, delle ossa è una struttura organizzata in modo apparentemente disordinato, ma che in realtà segue le linee principali di pressione. Il brevetto si riferisce all'aneddoto secondo il quale l'ingegnere Karl Culmann (1821-1881), inventore della statica grafica, professore a Zurigo, osservò il suo collega, l'anatomista Georg Hermann von Meyer (1815-1892), sezionare un osso. Al tempo preoccupato dalla progettazione di una gru, percepì nella struttura del materiale spugnoso un principio di ottimizzazione strutturale che rispondeva al suo problema ingegneristico. Tutto sommato, la menzione del organismo naturale si riduce nel brevetto a una frase, più evocativa che esplicita, nel mezzo di una riflessione approfondita sulla statica. Che ruolo ha avuto l'osso nell'invenzione dei solai a nervature isostatiche? Gli ingegneri se ne sono ricordati dopo la progettazione, o durante? Difficile da dire.

Rimandiamo ancora per un po' la necessità di rispondere. Prendiamo invece il tempo di considerare gli altri ponti che si presentano quando vogliamo capire la nascita delle linee isostatiche nel lavoro di Pier Luigi Nervi. I ricercatori Roberto Gargiani e Alberto

Bologna nel loro libro *The Rhetoric of Pier Luigi Nervi concrete and ferrocement forms* (EPFL Press, 2016) ritengono che certi motivi tipici della cultura indiana osservati da Aldo Arcangeli avrebbero avuto un ruolo nell'invenzione delle linee. Aldo Arcangeli fu effettivamente tenuto prigioniero nel distretto di Kangra in India dal 1941 al 1946. Per mantenersi attivo durante la cattività, si dedicò allo studio della statica, tenne corsi ai suoi compagni di prigionia e tradusse opere come la *Statik und Dynamik der Schalen* di Wilhelm Flügge (Springer, 1934), che suo padre Attilio Arcangeli, anch'egli ingegnere, gli inviò. I disegni e gli appunti che sono rimasti da questo soggiorno testimoniano una grande capacità di astrazione e uno studio appassionato della fisica meccanica. Ma questo ponte tra l'India e le linee isostatiche di Pier Luigi Nervi, per quanto interessante, non è incrollabile, perché il legame non è diretto; i studi di Aldo Arcangeli sono il segno di una libertà d'invenzione, una libertà senza dubbio necessaria, ma forse non sufficiente. Arcangeli conosceva naturalmente il lavoro di Karl Cullman, essendo uno degli inventori di spicco della sua disciplina. Le sue note dall'India descrivono, tra l'altro, un "metodo Cullman" (vedi le note sui "Tipi di sistemi elastici piani").

Un precedente importante per la cultura architettonica dell'epoca è la proposta del Gruppo Milanese (Antonio Carminati, Pietro Lingeri, Giuseppe Terragni, Luigi Vietti, Ernesto Saliva, Marcello Nizzoli e Mario Sironi) nel concorso del 1934 per il Palazzo Littorio a Roma. Nel progetto A, gli architetti hanno immaginato un grande muro lungo la via dell'Impero, leggermente curvo in pianta e cieco, con solo il balcone dell'arengario che lo attraversa. Questo muro è infatti sospeso sopra il piano terra, sorretto in due punti da travi reticolare. Il rivestimento del blocco di porfido è stato intagliato con fasce di acciaio che rappresentavano le linee isostatiche che agiscono al interno del materiale. L'ingegnere Italo Bertolini sembra aver dato un contributo decisivo alla progettazione di queste linee. Grazie ai suoi esperimenti di fotoelasticità - da cui Pier Lui Nervi sarà tanto affascinato in seguito - ha rivelato l'orientamento delle linee tramite l'illuminazione polarizzata su modelli in scala costruiti in resina fenolica e poi caricati. L'effetto della pelle di porfido tatuata come sfondo al balcone da cui il dittatore avrebbe arringato le folle sarebbe stato particolarmente espressivo... Questo ponte tra la facciata del progetto del Palazzo Littorio e le linee isostatiche del brevetto sembra particolarmente rilevante, e più solido. Ma perché dovrebbe esserci un solo modello di ispirazione? Qui la metafora del ponte raggiunge i suoi limiti. Dovremmo piuttosto immaginare più punti di partenza che convergono nell'invenzione di un dispositivo strutturale

e architettonico. I tessuti ossei, la libertà di spirito acquisita attraverso il contatto con la cultura indiana e l'esperienza del Gruppo Milanese contribuiscono forse tutti insieme all'invenzione? Altre idee e modelli hanno allora forse giocato un ruolo concomitante. Ma vediamo adesso dove ci portano le linee isostatiche.



Palazzo del Littorio, Progetto A, Roma, Gruppo Milanese, 1934.

Continuità delle linee

Queste linee continuano ben oltre, a partire dal progetto non realizzato per la stazione di Napoli nel 1954, in collaborazione con Mario Campanella e Giuseppe Vaccaro. Questa volta, Pier Luigi Nervi cambiò l'ordine di grandezza e adattò la struttura di conseguenza. I solai a fungo sono allargati di circa sei volte, in modo da non ostacolare il flusso dei passeggeri. La forma dei solai è generata dall'asimmetria meccanica dei supporti verticali data dagli sbalzi periferici.

Due versioni originali delle nervature isostatiche ebbero più fortuna e furono realizzate per la pensilina dell'ingresso "Fontenoy" dell'UNESCO a Parigi, dove Pier Luigi Nervi collaborò con gli architetti Marcel Breuer e Bernard Henri Zehrfuss dal 1951 al 1958, e per la chiesa dedicata al Cuore Immacolato di Maria a Borgo Panigale, progettata con l'architetto Giuseppe Vaccaro nel 1955. Variando la forma delle piante - trapezoidale all'UNESCO, rotonda a Borgo Panigale - e la posizione dei supporti, il sistema strutturale genera nuove configurazioni.

La sperimentazione continua con il progetto non realizzato per l'edificio del gruppo La Rinascente a Roma disegnato con gli architetti Ignazio Gardella e Luigi Piccinato dal 1957 al 1964. Questa volta, il numero di cassoni che coprono uno spazio di 26 x 20,5 metri

è stato notevolmente aumentato a trentotto forme diverse che sono state ripetute solo quattro volte. Tuttavia, il solaio doveva essere ripetuto su più piani.

Nel 1959 Pier Luigi Nervi e suo figlio Antonio vinsero il concorso per il Palazzo del Lavoro di Torino. L'edificio risultante diventa internazionalmente famoso, soprattutto per i suoi monumentali pilastri a fungo. Il progetto comprende anche delle ballatoi periferici che sviluppano le nervature isostatiche del Lanificio Gatti su una griglia di 12 x 12 metri completata da sbalzi laterali. Per la prima volta, il sistema viene scomposto per permettere il passaggio di elementi verticali, in questo caso i pilastri monumentali.

Il progetto del Palazzo dello Sport dell'EUR, disegnato con l'architetto Marcello Piacentini e costruito tra gennaio 1958 e giugno 1959, innova in un altro modo. Non è la cupola che è importante qui, ma alcune gallerie periferiche che sono sostenute da nervature isostatiche. Per risolvere il problema della visibilità, l'edificio è organizzato a piante circolari conferendo questa forma alle gallerie periferiche. Il sistema viene poi scomposto in solai trapezoidali che permettono di tagliare il piano circolare in porzioni identiche. Questo modo di spezzare la pianta è stato utilizzato in diverse varianti del progetto non realizzato di ampliamento della cattedrale di Portsmouth nel Regno Unito, studiato con gli architetti Seely & Paget tra il 1964 e il 1968. È stato poi radicalmente sistematizzato per il non costruito Pitt Rivers Museum and Anthropology Center di Oxford, Regno Unito, progettato con Powell e Moya Architects tra il 1965-1968. Questa pianta circolare radicale è resa possibile dal processo di apertura di alcune parti dei solai per permettere la circolazione verticale o creare doppie altezze.

Un'ulteriore sequenza è quella delle grandi piante quadrate, che si apre con il progetto di un memoriale a Enrico Fermi a Chicago. Ma il progetto, commissionato nel 1963, fu definitivamente interrotto nel 1966. Questa tipologia fu poi sviluppata nella Cassa di risparmio a Venezia (1963-1975), progettata con l'architetto Angelo Scattolin su una pianta più ristretta di 19,70 x 19,70 metri per la sala principale al piano terra. Per non scendere sotto uno spessore minimo, il numero di nervature isostatiche è, anche lui, ridotto rispetto al Memoriale di Fermi. Il progetto non realizzato per il Centro Culturale di Tripoli in Libia (1966-1968) comprende due variazioni delle nervature isostatiche che sviluppano questo concetto creando nuove variazioni espressive. La pianta ellittica dell'atrio principale mostra come il posizionamento

asimmetrico dei pilastri che corrispondono alla circolazione crea una rete di linee originali. La pianta quadrata della sala espositiva introduce nuove raffinatezze, in particolare lungo le diagonali e le mediane, dove le linee sembrano liberarsi dalla regola dell'incrocio a 90 gradi.

Gli sviluppi in questa linea non si fermano qui. Le sale da basket dell'ambizioso Kuwait Sports Center progettato da Pier Luigi Nervi e suo figlio Antonio tra il 1968 e il 1969, e non realizzato, rinnovarono la disposizione delle nervature isostatiche utilizzando per la prima volta supporti verticali a sezione curva. Possiamo ipotizzare che per il sollevamento dei cassoni in questo progetto più grandi (larghi fino a dieci metri), i progettisti si affidarono ad attrezzature prima sconosciute. La torre del Centro MLC di Sydney, Australia, progettata con l'architetto Harry Seidler tra il 1970 e il 1977, ha finalmente raggiunto una pianta con dimensioni paragonabili a quelle del Fermi Memorial. Tuttavia, poggiando su un nucleo centrale e su punti periferici distribuiti su un quadrato con angoli bisellati, le nervature isostatiche sono disposte in una nuova configurazione

Infine, la famosa sala delle udienze pontificie, commissionata nel 1964 e inaugurata nel 1971, ha sfruttato il sistema delle nervature isostatiche, a quanto pare, fino allo sfinimento. Questa volta, tre spazi sono coperti da questo sistema: il trono papale, che si apre sulla Sala Grande, l'atrio che separa la grande sala dall'ingresso e il salone pontificio quadrato. Qui il disegno delle nervature raggiunge una grande libertà, la cui espressività è particolarmente decorativa. Nei diversi solai appare un cassetone centrale circolare o ellittico, creando uno spazio per l'installazione di un'illuminazione zenitale particolarmente suggestiva. Tuttavia, il ruolo statico delle nervature che li incorniciano è discutibile, poiché non seguono la regola dell'incrocio ad angolo retto. L'ingegnere Mario Desideri, che ha lavorato con Pier Luigi Nervi dal 1949 al 1972, in particolare sulle nervature isostatiche, lo mette in dubbio questo in quanto afferma: "il pavimento del trono papale è fatto con nervature curvilinee, *sic et simpliciter*" (in Francesca Romana Castelli e Anna Irene Del Monaco (a cura di), *Pier Luigi Nervi e l'architettura strutturale*, EdilStampa, 2011). Il design delle nervature, guidato dall'espressività estetica, non sarebbe allora più completamente isostatico? Naturalmente, in questo progetto, è la grande sala a volta che concentra l'attenzione maggiore.

Questo breve viaggio mostra che non è tanto la cronologia

a guidare le linee, ma piuttosto le idee; idee che si basano sulle possibilità materiali, idee che anche le trascendono. Il pensiero piega la linea sia riferendosi al mondo reale, sia sognandolo diversamente da come è. È costruendo un ponte che si scopre la riva opposta. La nuova riva si scopre costruendo i mezzi per attraversare, perché non preesiste.

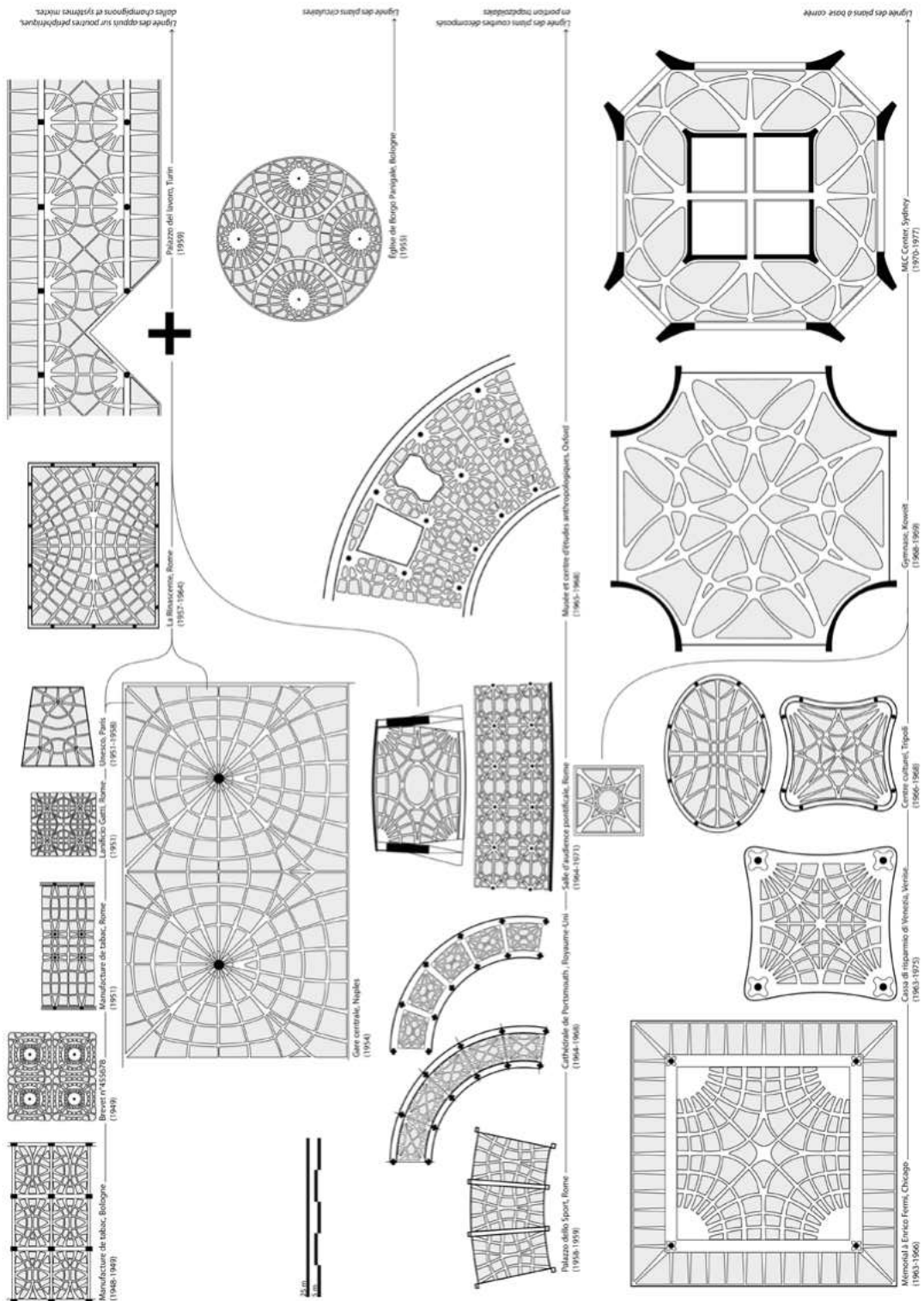
Qualche punto di arrivo

A questo punto, occorre una conclusione, almeno provvisoria. La biomimetica può sbagliarsi nel pensare che un organismo naturale possa essere la fonte di ispirazione per un edificio. Un errore del genere è un problema solo per coloro che vi si dedicano. La possibilità di successo in questa impresa non è l'argomento di questo testo. Quando si tratta invece di eventi storici, non possiamo affrancarci dai fatti. Non si possono tracciare linee che collegano progetti architettonici a forme naturali e altre stranezze senza almeno tentare di percorrere i sentieri che portano da un capo all'altro, senza assicurarsi che ci siano indizi storici che tracciano questo percorso. E se la storia del pensiero ci può aiutare a giudicare la pertinenza dell'ispirazione organica, ecco ciò che possiamo imparare dalla storia delle linee isostatiche dello Studio Nervi: non si può escludere che la conoscenza del tessuto spugnoso dell'osso abbia avuto un ruolo nell'invenzione dei solai a nervature isostatiche, ma se questo è il caso, si tratterebbe da un lato di sapere esattamente quale ruolo, e dall'altro, di includere le altre fonti che hanno anche avuto altrettanta importanza. A questo proposito, gli elementi che almeno hanno giocato un ruolo primordiale sono: il ferrocemento, una logica di ottimizzazione che controlla la libertà morfologica e un desiderio di espressività estetica. Ma dobbiamo anche prendere in considerazione i primi progetti di manifatture di tabacchi di Bologna e Roma, che tentano, in un modo probabilmente ancora incerto, di introdurre una qualità formale in un sistema ripetitivo. Queste considerazioni devono essere tenuto in conto per spiegare l'invenzione delle nervature isostatiche... prima di ridurre la questione a un mucchio di ossa!

Dato che la biomimetica giustifica le sue ambizioni sulla base di esempi storici, vediamo cosa si può ricavare dalla storia di questi esempi, una volta che ci siamo presi la briga di esaminarli. I processi di pensiero reali possono quindi dare qualche indicazione sul funzionamento della proiezione architettonica. Piuttosto che opporre un ponte all'altro — il ponte biomimetico al ponte costruttivo, per esempio — la storia delle nervature isostatiche mostra che la

progettazione architettonica procede piuttosto da una molteplicità di ponti. Non c'è una sola ispirazione, ma molte ispirazioni, una pluralità che è simultanea: l'osso non interviene da solo. Una pluralità che è anche diacronica: prima e dopo l'osso, altre fonti di ispirazione hanno giocato un ruolo importante. Così, la ricchezza di questa sequenza di progetti è espressa dalle variazioni che ha permesso. I diciotto progetti sviluppati mostrano come la contingenza possa stimolare l'intelligenza creativa. Tra questi, solo uno fa riferimento all'osso. Perché è così? Un solaio, a differenza di un osso, sostiene e copre degli spazi abitabili. Sostenere uno spazio di lavoro in una manifattura o uno spazio espositivo, coprire un area sportiva, un trono o un luogo di culto non è equivalente. Le dimensioni, i simboli, la visibilità, i modelli culturali sono fonti di cui si nutre il pensiero del progetto. La struttura dell'osso è senza dubbio un valido nutrimento intellettuale, ma da sola forma un ponte molto fragile; una linea senza spessore.

LINEE DI STRUTTURA, LINEE DI PENSIERO:
 18 MODI DI DISEGNARE LE NERVATURE ISOSTATICHE CON PIER LUIGI NERVI
 Louis Vitalis



Lignaggi di solai a nervature isostatiche progettati da Nervi (schema L.Vitalis).

Louis Vitalis

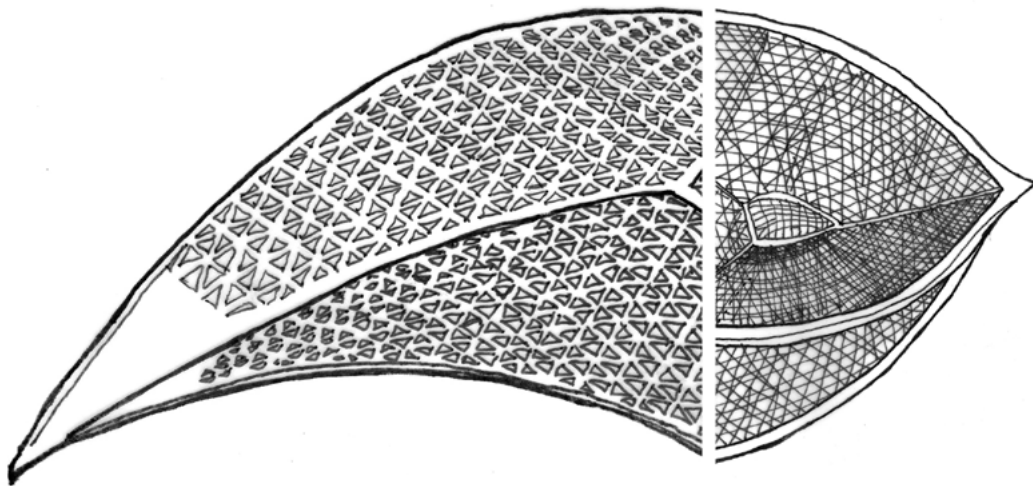
Louis Vitalis, architetto, dottore in architettura, insegnante-ricercatore all'ENSA-Parigi La Villette.

Questo lavoro è stato reso possibile dal sostegno e dall'ospitalità del'INHA (Institut national d'histoire de l'art) e dell'Académie de France à Rome - Villa Médicis, che desidero qui ringraziare. La ricerca si è basata principalmente sugli archivi dello Studio Nervi conservati al MAXXI di Roma.

(con il prezioso aiuto di **G. Minutti** per la traduzione)

LIGNES DE STRUCTURE, LIGNES DE PENSÉE: 18 MANIÈRES DE DESSINER DES NERVURES ISOSTATIQUES AVEC PIER LUIGI NERVI

Louis Vitalis



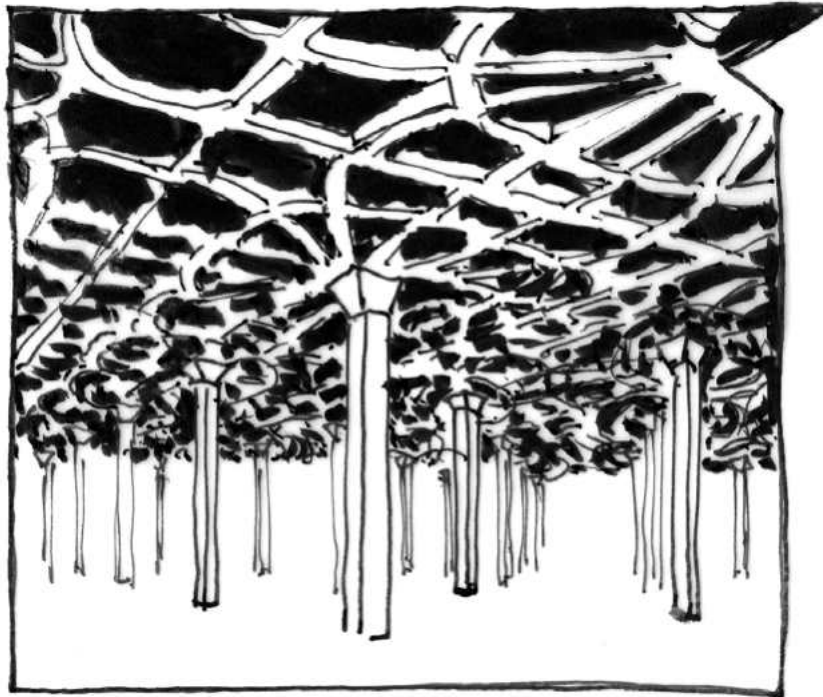
Comparaison entre la structure du CNIT de Nervi (Paris, 1953-56) et celle d'un radiolaire (collage L.Vitalis).

La pensée possède cette belle faculté d'établir des relations, de tracer des lignes entre des choses ; des lignes qui séparent, mais également des lignes qui relient. L'art de la construction aussi, à sa manière, relie des matériaux, joint des points dans l'espace et franchit des vides. Penser, en un sens, c'est établir des ponts: des ponts métaphoriques, car on n'expliquera pas la pensée en observant la construction, ni l'inverse. Ce qui m'importe plutôt, c'est de remarquer comment, pour penser les édifices que l'on bâtit, pour développer une réflexion en architecture et en ingénierie, on est, si souvent, amenés à faire des ponts. Mais tous les ponts sont-ils bons à franchir? Si l'on est épris de recherche scientifique — et donc quelque part un peu, de vérité —, il faut que le pont soit tracé selon un certain art qui en garantisse la solidité, ne serait-ce que provisoire, ne serait-

ce que pour que quelques-uns puissent passer et consolider l'édifice collectif de la connaissance, quitte, parfois, à se débarrasser des poutres corrompues.

L'œuvre de Pier Luigi Nervi, comme souvent les œuvres des grands créateurs, donne à penser à de nombreux chercheurs. On voit alors, des ponts s'établir qui relient les structures de l'ingénieur italien à différents objets. En parcourant l'antique ligne qui relie l'architecture à la nature, quelques-uns voient, dans les architectures de Pier Luigi Nervi, une conception inspirée d'organismes vivants. Ils suivent ainsi cette même ligne que Paolo Portoghesi avait si amplement dessinée. Sous le nom de ce qu'ils appellent le «biomimétisme», pourtant, certains de ces auteurs, surtout dans le monde anglo-saxon, cherchent à s'en distinguer revendiquant une approche innovante basée sur les sciences biologiques et les vertus de l'écologie. Michael Pawlyn, Göran Pohl, Werner Nachtigall, Petra Gruber, voilà s'il faut les citer quelques noms. Mais c'est la pensée et sa dynamique qui importe ici, pas de s'arrêter aux noms. Ce ne serait, après tout, que leur affaire, s'ils ne s'aventuraient pas dans une réécriture de l'histoire clamant ici que Pier Luigi Nervi s'est inspiré d'une feuille de Nénuphar pour concevoir la coupole du Palazetto dello Sport via Flaminia, là, qu'il s'est inspiré d'une micro-algue, la diatomée, pour concevoir la coupole du Palazzo dello Sport de l'EUR, et ailleurs, qu'il a utilisé les principes structurels d'un radiolaire pour son étude, non réalisée, pour le CNIT à Paris. En poussant plus loin la lecture des textes biomimétiques discutant de Pier Luigi Nervi, c'est un curieux bestiaire qui défile: feuilles végétales, tissus spongieux d'un fémur sectionné, cosse de pavot, os du bassin d'un oiseau, tronc d'arbre...

Que penser de ces ponts? Que dit-on, au juste, en disant que Pier Luigi Nervi s'est inspiré d'une feuille de nénuphar? Quelle intelligence de la conception est-ce que nous avons ainsi gagnée? J'entends, pour tenter d'y voir un peu plus clair dans ces vastes questions, reprendre les lignes suivies par Pier Luigi Nervi au fil de ses projets. Il faudra donc pour cela quitter un moment les abstractions métaphoriques pour entrer dans une description plus factuelle des projets et voir concrètement ce qu'il en est. Je ne m'attarderai que sur la question du tissu spongieux de l'os censé jouer un rôle dans la conception des dalles champignons du sous-sol du Lanificio Gatti, à Rome, le long de la via Prenestina. L'étude se limite aux dalles à nervures isostatiques sur plans horizontaux (seront donc écartés celles sur plans courbes et sur plans verticaux).



Lanificio Gatti, sous-sol semi enterré, Rome, Pier Luigi Nervi, 1953.

Conditions de possibilités des lignes

Lorsque l'on emprunte ces lignes qui relient les projets les uns aux autres dans l'ordre de leur genèse, cela conduit d'abord aux antécédents qui ont précédé la conception des dalles du Lanificio Gatti. Bien sûr, remonter à une origine absolue est un projet illusoire, aussi je me bornerai à poser d'abord un questionnement propre à la pensée de Pier Luigi Nervi qui forme les conditions de possibilités de ces lignées: comment de nouveaux matériaux libèrent-ils l'univers des formes? Que faire de cette liberté pour dessiner des structures?

Les dalles à nervures suivant les lignes isostatiques des moments principaux (abrégé ici «dalles à nervures isostatiques» par commodité) sont le fruit d'une innovation qui est d'une part matérielle: elle n'existe pas sans le ferrociment que Pier Luigi Nervi explore pendant les années de guerre et dépose le 15 avril 1943 (brevet n° 406296). Pour Pier Luigi Nervi, le béton armé ouvrait *de jure* des possibilités formelles nouvelles qui étaient *de facto* limitées par les coffrages en bois parallélépipédiques. Or, le ferrociment est une sorte de béton armé contenant plus de métal (grillages) que de ciment et mis en œuvre dans de très fines plaques. Le mortier de ciment n'est pas coulé, mais pressé dans les mailles ce qui dispense des coffrages en bois aux géométries limitées et concrétise la liberté

morphologique. Cela rend possible la mise en œuvre de dalles coulées d'une pièce avec leurs poutres sous-jacentes. Ces poutres pouvant être de géométries très libres forment des plafonds à caissons qui peuvent être laissés visibles. Les moules en ferrociment peuvent être réutilisés pour reproduire des dalles identiques, ils sont même parfois fixés sur des échafaudages mobiles, ce qui était le cas au Lanificio Gatti. Le système atteint ainsi une certaine efficacité: ce rapport coût/effet si cher à Pier Luigi Nervi.

Mais si le ferrociment autorise alors une liberté formelle décuplée, il ne s'agit pas pour autant de dessiner n'importe quelle forme seulement parce qu'elle est possible. Le dessin des lignes isostatiques permet de répartir la matière là où elle est la plus utile. C'est une optimisation. Les nervures suivent deux familles de courbes se coupant à angle droit qui sont les trajectoires des tensions principales dans un corps considéré en deux dimensions. Je renvoie aux éclairants articles de Tullia Iori sur la question. Ce dessin répond également à une question perceptive. Les lignes confèrent à l'édifice une expressivité esthétique aux yeux de Pier Luigi Nervi. Mais il faut considérer aussi que ces lignes enlèvent une liberté de choix, elles évitent les ornements inutiles que Pier Luigi Nervi abhorre. Le ferrociment permet de se libérer des coffrages en bois aux formes de parallélépipèdes. Mais cette liberté conquise n'implique pas d'en faire un usage débridé. Les possibilités formelles étant multipliées, les lignes isostatiques résolvent le problème de savoir quel type général de forme utiliser. Mais ce n'est qu'un type général qui est généré spécifiquement en fonction des données de chaque projet.

Naissance des lignes

Cette rencontre de l'innovation matérielle et du dessin structurel ouvre alors un univers de pensée fertile qui connaîtra plusieurs variations et au sein duquel la dalle à nervures isostatiques du Lanificio Gatti n'est qu'un item. La reconstruction de ces variations est reprise dans l'illustration ci-contre.

Le premier projet de la séquence est, en fait, le projet pour la manufacture de tabac de Bologne dont le concours date de 1948. Pier Luigi Nervi avait alors imaginé une variante avec des nervures isostatiques reposant sur une trame de poutres périphériques de 8 x 5,8 mètres. Cette manière expressive de réaliser les dalles permet d'introduire une sorte de variation, d'unité qualitative, dans un système extrêmement répétitif, celui d'un plan global de 210 x 24

mètres répétés sur cinq étages ; soit plus de 300 dalles identiques. C'est malheureusement une structure plus simple, plus orthogonale, qui est réalisée. À ce stade où les idées pétillent, des possibilités considérables sont pressenties et vont être posées dans un brevet. Le brevet n°455678 intitulé «Perfezionamento nella costruzione di solai, volte, cupole, travi-parete e strutture portanti in genere a due o a tre dimensioni, con disposizione delle nervature resistenti lungo le linee isostatiche dei momenti o delgi sforzi normali» est déposé le 23 juillet 1949 par la société Nervi & Bartoli Anonima per Costruzioni. L'ingénieur Aldo Arcangeli, employé de l'entreprise, est mentionné comme l'inventeur. Parmi les nombreuses applications que le brevet envisage, il développe notamment, à titre d'exemple, un projet a-contextuel de dalle champignon, le premier de la lignée.

Après ces premières expériences, l'agence de Pier Luigi Nervi imagine, en 1951, une dalle à nervures isostatiques pour la manufacture de tabac à Rome sur le principe de la dalle champignon. Et c'est seulement à ce point de la réflexion que sera réalisé le Lanificio Gatti auquel Pier Luigi Nervi travaille, d'après les documents des archives, de 1951 à 1953. C'est un système de dalles champignons très proche du brevet qui est développé sur une trame de poteaux de 5 x 5 mètres. Toutefois le nombre de nervures est réduit pour s'adapter aux dimensions de la mise en œuvre et éviter des caissons trop petits.

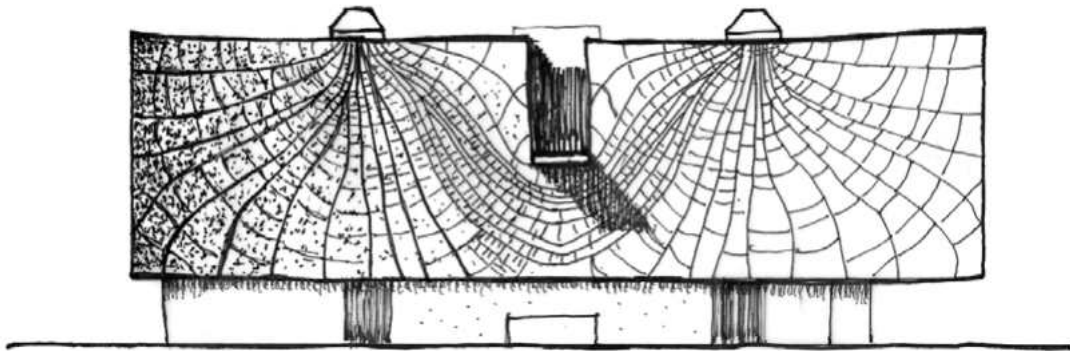
Le brevet de 1949 mentionne le modèle de la structure osseuse: «Esempi tale genere si trovano numerosi in natura, e classico tra esso è quello delle trabecole ossee, osservato per primo dal Culmann.» (brevetto n°455678, Archivio centrale dello stato, p. 2). Le tissu dit trabéculaire, ou spongieux, des os est une structure organisée de manière apparemment désordonnée, mais qui suit en fait les lignes de pressions principales. L'anecdote dit que l'ingénieur Karl Culmann (1821-1881), inventeur de la statique graphique, enseignant à Zurich observe chez son collègue, l'anatomiste Georg Hermann von Meyer (1815-1892), la dissection d'un os. Préoccupé alors par la conception d'une grue, il perçoit dans la structure de la matière spongieuse, un principe d'optimisation structurelle qui répond à son problème d'ingénierie. Somme toute, la mention d'un organisme naturel est réduite à une phrase, évocatrice plus qu'explicite, au milieu d'une réflexion approfondie de statique: quel rôle l'os a-t-il joué dans l'invention des dalles à nervures isostatiques? Les concepteurs s'en sont-ils rappelés après coup, ou pendant? Difficile de trancher.

Mais retardons ce besoin d'un verdict encore un peu. Prenons

plutôt le temps de considérer les autres ponts qui se présentent lorsque l'on veut comprendre la naissance des lignes isostatiques chez Pier Luigi Nervi. Les chercheurs Roberto Gargiani et Alberto Bologna dans leur livre *The Rhetoric of Pier Luigi Nervi concrete and ferrocement forms* (EPFL Press, 2016) considèrent que certains motifs typiques de la culture indienne observés par Aldo Arcangeli auraient joués un rôle dans l'invention des lignes. Aldo Arcangeli est en effet resté captif dans le district de Kangra en Inde de 1941 à 1946. Pour se maintenir actif pendant sa captivité, il se consacre à l'étude de la statique, donne des cours à ses codétenus et traduit des ouvrages tel le *Statik und Dynamik der Schalen* de Wilhelm Flügge (Springer, 1934) que lui envoie son père Attilio Arcangeli également ingénieur. Les dessins et notes qui sont restés de ce séjour témoignent en effet d'une grande capacité d'abstraction et d'approfondissements particulièrement poussés en physique mécanique. Mais ce pont entre l'Inde et les lignes isostatiques de Pier Luigi Nervi, aussi intéressant soit-il, n'est pas d'une solidité inébranlable, car le lien n'est pas direct ; il repose sur ce qui n'est que le signe d'une liberté d'invention. Une liberté sans doute nécessaire, mais peut-être pas suffisante. Aussi, Aldo Arcangeli connaissait bien entendu le travail de Karl Cullman, puisqu'il est un des inventeurs marquants de sa discipline. Ses notes d'Inde décrivent notamment une «méthode Cullman» (voir les notes concernant les «Tipi di sistemi elastici piani»).

Il y a également un précédent important pour la culture architecturale de l'époque, c'est la proposition du Gruppo Milanese (Antonio Carminati, Pietro Lingeri, Giuseppe Terragni, Luigi Vietti, Ernesto Saliva, Marcello Nizzoli et Mario Sironi) au concours de 1934 pour le Palazzo Littorio de Rome. Dans le projet A, les architectes imaginaient le long de la Via del Impero une grande paroi légèrement courbe en plan et aveugle, uniquement traversée par le balcon de l'arengario. Cette paroi est en fait suspendue au-dessus du rez-de-chaussée en deux points par des poutres retroussées. Le revêtement en blocs de porphyre était entaillé par des faisceaux d'acier qui représentaient les lignes isostatiques agissant dans la matière. Pour le dessin de ces lignes, il semble que c'est la contribution de l'ingénieur Italo Bertolini qui fut décisive. Grâce à ses expériences de photoélasticité — qui passionneront tant Pier Lui Nervi par la suite — il dévoile l'orientation des lignes par un éclairage polarisé sur des modèles réduits construits en résine phénolique puis chargés. L'effet que devait produire cette peau de porphyre rouge tatouée comme arrière-plan au balcon d'où le dictateur devait haranguer les foules aurait été particulièrement expressif... Ce pont entre la façade du

projet Palazzo Littorio et les lignes Isostatiques de Pier Luigi Nervi semble particulièrement pertinent, et plus solide. Mais pourquoi devrait-il n'y avoir qu'un modèle d'inspiration? Ici la métaphore du pont touche à ses limites. Il faudrait plutôt imaginer que c'est en partant de plusieurs endroits différents que l'on arrive quelque part à la conception d'un dispositif structurel et architectural. Les tissus osseux, la liberté d'esprit conquise au contact de la culture indienne et l'expérience du Gruppo Milanese ne participent-ils pas de concert à l'invention? Et dans cette voie, il faut imaginer que d'autres idées et modèles ont pu jouer un rôle concomitant. Mais voyons encore un peu où nous mènent les lignes isostatiques.



Palazzo del Littorio, Projet A, Rome, Gruppo Milanese, 1934.

Continuités des lignes

Car ces lignes se poursuivent bien au-delà et d'abord avec le projet non réalisé pour la gare de Naples en 1954, en collaboration avec Mario Campanella et Giuseppe Vaccaro. Pier Luigi Nervi change cette fois d'ordre de grandeur et adapte la structure en conséquence. Les dalles champignons sont agrandies environ six fois, pour ne pas entraver les flux de passagers. L'asymétrie mécanique de la disposition en deux rangées de dalles champignons est alors répercutée sur la forme des dalles, elles-mêmes asymétriques, elles sont plus courtes du côté des porte-à-faux périphériques.

Deux versions originales des nervures isostatiques seront plus chanceuses et réalisées pour l'avant-toit de l'entrée «Fontenoy» de l'UNESCO à Paris, où Pier Luigi Nervi collabore avec les architectes Marcel Breuer et Bernard Henri Zehrfuss de 1951 à 1958, et pour l'église dédiée au Cœur Immaculé de Marie à Borgo Panigale en périphérie de Bologne, conçue avec l'architecte Giuseppe Vaccaro en 1955. En

faisant varier la forme de plans — trapèze à l'UNESCO, rond à Borgo Panigale — et la position des appuis, le système structurel dessine des configurations nouvelles.

L'expérimentation continue avec le projet non réalisé pour l'édifice du groupe La Rinascente à Rome conçu avec les architectes Ignazo Gardella et Luigi Piccinato de 1957 à 1964. Cette fois, le nombre de caissons couvrant un espace de 26 x 20,5 mètres augmente considérablement, passant à trente-huit formes différentes qui ne sont répétées que quatre fois. La dalle devait cependant se répéter sur plusieurs étages.

En 1959 Pier Luigi Nervi remporte, avec son fils Antonio, le concours du Palazzo del Lavoro de Turin. L'édifice réalisé connaîtra une renommée internationale, notamment pour ces piliers champignons monumentaux. Mais le projet comprend aussi des mezzanines périphériques qui sont un développement des nervures isostatiques du Lanificio Gatti sur une trame de 12 x 12 mètres complétée par des porte-à-faux périphériques. Pour la première fois, le système se décompose pour laisser libre le passage d'éléments verticaux, ici les piliers.

Le projet du Palazzo dello sport de l'EUR, conçu avec l'architecte Marcello Piacentini et construit entre janvier 1958 et juin 1959, innove d'une autre manière. Ce n'est pas la coupole qui importe ici, mais certaines galeries périphériques qui sont portées par des nervures isostatiques. Une problématique générale de visibilité organise circulairement les gradins et commande alors aux galeries périphériques cette forme. Le système est alors décomposé en unités trapézoïdales à un seul axe de symétrie qui permettent de découper le plan circulaire en portions identiques. Cette manière de décomposer le plan sera reprise dans différentes variantes du projet, non réalisé, d'extension de la cathédrale de Portsmouth au Royaume-Uni, étudié avec le bureau d'architecture Seely & Paget entre 1964-1968. Elle est ensuite radicalement systématisée pour le projet non réalisé de l'édifice abritant le musée Pitt Rivers et un centre d'études anthropologiques à Oxford en Grande-Bretagne conçu avec Powell and Moya Architects entre 1965-1968. Cette radicalité du plan circulaire est permise par le procédé consistant à ajourer certaines parties des dalles pour laisser passer des circulations verticales ou créer des doubles hauteurs.

Une dernière séquence est celle des plans carrés de grandes dimensions qui s'ouvre avec le projet de mémorial à Enrico Fermi, à Chicago, Pier Luigi Nervi. Mais le projet dont la commande date de 1963 est finalement arrêté en 1966. Cette typologie est ensuite développée à la Cassa di risparmio de Venise (1963-1975), conçue avec l'architecte Angelo Scattolin sur un plan plus restreint de 19,70 x 19,70 mètres pour le hall principal du rez-de-chaussée. Pour ne pas descendre en dessous d'une épaisseur minimale, le nombre de nervures isostatiques est également réduit par rapport au mémorial Fermi. Le projet non réalisé pour le centre culturel de Tripoli en Libye (1966-1968) comprend deux déclinaisons des nervures isostatiques qui poursuivent ce travail en créant de nouvelles variations expressives. Le plan elliptique du hall d'entrée principal montre comment le placement asymétrique des poteaux qui s'accordent aux circulations crée un réseau de lignes originales. Le plan carré de la salle d'exposition introduit de nouveaux raffinements notamment le long des diagonales et des médiatrices où les lignes semblent s'être libérées de la règle du croisement à 90°.

Mais les développements de cette lignée ne s'arrêtent pas là. Les gymnases de basketball de l'ambitieux centre sportif du Koweït élaborés par Pier Luigi Nervi et son fils Antonio entre 1968 et 1969, mais non réalisés, renouvellent la disposition des nervures isostatiques en utilisant pour la première fois des appuis en forme de plans courbes. Avec certains caissons allant jusqu'à une dizaine de mètres, les concepteurs devaient compter sur des engins de levage particuliers pour la mise en œuvre. La tour du MLC Center à Sydney, en Australie élaborée avec l'architecte Harry Seidler entre 1970 et 1977 réalise finalement un plan aux dimensions comparables à celles du mémorial Fermi. Mais, en s'appuyant à la fois sur un noyau central et sur des points périphériques répartis sur un carré aux angles biseautés, les nervures isostatiques s'arrangent selon une nouvelle configuration

Enfin, la célèbre salle d'audience pontificale commandée à Pier Luigi Nervi en 1964, puis inaugurée en 1971 va exploiter, en quelque sorte jusqu'à l'épuisement, le système des nervures isostatiques. Cette fois, ce sont trois espaces qui se voient couverts par ce système: le trône papal ouvert sur la grande salle, l'atrium séparant la grande salle de l'entrée, et le salon pontifical sur plan carré. Ici le dessin des nervures atteint une grande liberté, dont l'expressivité a un caractère particulièrement décoratif. Dans les dalles, on voit apparaître un caisson circulaire ou elliptique central qui crée un espace permettant

l'installation d'éclairages zénithaux particulièrement suggestifs. Mais qu'il soit permis de douter du rôle statique des nervures qui les encadrent puisqu'elles échappent à la règle des croisements à angle droit. C'est l'ingénieur Mario Desideri, collaborateur de Pier Luigi Nervi de 1949 à 1972, notamment sur les nervures isostatiques qui insuffle le doute lorsqu'il affirme: «il solaiò sul trono papale è realizzato con nervature curvilinee, *sic et simpliciter*» (in Francesca Romana Castelli et Anna Irene Del Monaco (dir.), *Pier Luigi Nervi e l'architettura strutturale*, Edilstampa, 2011). Le dessin des nervures serait-il alors, poussé par l'expressivité esthétique, plus tout à fait isostatique? Bien sûr dans ce projet, c'est la grande salle voûtée qui concentre les efforts et réalise la performance majeure.

On voit à travers ce bref parcours que ce n'est pas tant la chronologie qui dirige les lignes, que des idées ; des idées qui s'appuient sur des possibilités matérielles, des idées qui les transcendent également. La pensée infléchit la ligne à la fois en faisant référence au monde réel, et en le rêvant autrement qu'il n'est. C'est jetant un pont que l'on découvre la rive d'en face. La nouvelle rive se découvre en construisant les moyens de traverser, elle ne préexiste pas.

Quelques points d'arrivée

À ce point du parcours des lignes, une conclusion, au moins provisoire, s'impose. Le biomimétisme peut se tromper pensant qu'un organisme naturel peut être la source d'inspiration d'un édifice. Une telle erreur ne trouble que ceux qui s'y adonnent. La possibilité de réussir dans cette entreprise n'est pas l'objet de ce texte. Mais on ne peut dire n'importe quoi au sujet d'évènements historiques. On ne peut tracer des lignes qui relient à tout bout de champ des projets d'architecture à des formes naturelles et autres bizarreries, sans tenter, au moins, de parcourir les chemins qui mènent d'un bout à l'autre ; sans s'assurer qu'il y a bien des indices historiques qui dessinent ce chemin. Et si l'histoire des processus de pensée peut servir d'indication quant à la pertinence des sources d'inspirations organiques, voilà ce que l'on peut tirer de celle des lignes isostatiques du Studio Nervi: il n'est pas exclu que la connaissance de la structure du tissu spongieux de l'os ait joué un rôle dans l'invention des dalles à nervures isostatiques, mais si c'est le cas, il s'agirait d'une part, de savoir quel rôle exactement, et d'autre part, d'inclure les autres sources qui y ont également joué un rôle. À ce titre, les éléments qui, a minima, ont joué un rôle important sont: le ferrociment, une logique

d'optimisation contrôlant la liberté morphologique et une volonté d'expressivité esthétique. Mais il faut tenir compte aussi des premiers projets de manufacture de tabac de Bologne et de Rome qui tentent, de manière sans doute encore incertaine, d'introduire de la qualité perceptive dans un système répétitif. Ces considérations entrent de droit dans les éléments d'une explication de l'invention des nervures isostatiques... avant de réduire la question à un tas d'ossements !

Puisque le biomimétisme justifie ses prétentions à partir d'exemples historiques, voyons ce que l'on peut trier de l'histoire de ces exemples, une fois l'on a pris la peine de s'y intéresser. Des processus de pensée, bien réels, peuvent alors donner quelques indications quant aux modalités de fonctionnement de la conception architecturale et des analogies projectives. Plutôt que d'opposer un pont à un autre — le pont biomimétique au pont constructif, par exemple — l'histoire des nervures isostatiques montre que la conception architecturale procède plutôt d'une multiplicité de ponts. Il n'y a pas une inspiration, mais des inspirations, une pluralité qui est à la fois simultanée: l'os n'intervient pas seul. Mais une pluralité qui est également diachronique: avant et après l'os, d'autres sources d'inspiration ont eu un rôle important. Ainsi, la productivité de cette lignée de projets s'exprime par les variations qu'elle a permises et qui révèlent cette multiplicité. Les dix-huit projets développés montrent comment des contextes d'inscriptions permettent de stimuler l'intelligence. Parmi eux, un seul renvoie à l'os. Pourquoi? Une dalle, à la différence d'un os, porte et couvre des espaces habitables. Porter un espace de travail dans une usine ou un espace d'exposition, couvrir une salle de sport, un trône, ou un lieu de culte n'est pas équivalent. Les portées, les symboles, les visibilitées, les modèles culturels sont des sources à partir desquelles la pensée du projet se nourrit. La structure de l'os est sans doute une nourriture intellectuelle valable, mais à elle seule, elle forme un pont bien fragile ; une ligne sans épaisseur.

Louis Vitalis

Architecte, docteur en architecture, enseignant-chercheur à
l'ENSA-Paris La Villette.

Ce travail a été rendu possible par le soutien et l'accueil de
l'INHA (Institut national d'histoire de l'art) et de l'Académie de
France à Rome – Villa Médicis, que je souhaite remercier ici.
La recherche s'est appuyée sur les archives du Studio Nervi
conservées au MAXXI à Rome.