



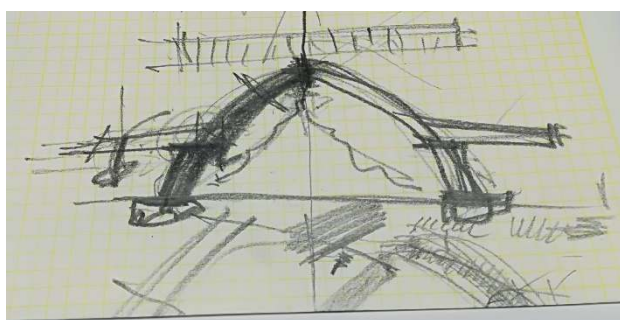
Lo chiameremo paraboloide

I sili a sezione parabolica dell'area ex Montedison a S. Maria degli Angeli

di Alberto Capitanucci, 26 luglio 2018

Questo articolo è ripreso integralmente dal sito <http://www.oicosriflessioni.it> dove è stato pubblicato nel luglio 2018 come approfondimento della scheda *Sito ex Montedison, Assisi - Santa Maria degli Angeli*^{1,2} nell'ambito del progetto di censimento *Architetture contemporanee ad Assisi e dintorni*³ a cura di P. Ansideri.

Gli schizzi sono dell'autore.



Parte prima

Il nome: breve viaggio nella geometria delle coniche

Nella lingua italiana, la presenza del suffisso “-oide” fa intendere che si è davanti ad un'entità cui si attribuisce una “*somiglianza di forma, di aspetto, di natura o comunque relazione, analogia, affinità con la cosa indicata dalla parola cui < detto suffisso > viene aggiunto*”⁴.

Nell'accezione comune, non sempre in linea con quella scientifica, “-oide” ci mette sull'avviso rispetto all'automatica identificazione dell'oggetto della nostra attenzione con parti della realtà con cui si è stabilita naturale confidenza: il termine “*umanoide*”, nella forma aggettivale corrente non equivale ad un complimento e, quando elevato a sostantivo, riporta ad immagini di saghe interstellari o ad epiche della preistoria profonda. In generale, il suffisso “-oide”, da semplice, grammaticale, “espansore” della realtà compiutamente definita, è divenuto marchio di una sgradevole indeterminatezza.

Nessuno di noi può affermare che siederebbe volentieri vicino ad un “umanoide” o che può provare piacere ad essere definito “intellettualeoide”. Tuttavia, entrando nel campo della geometria, il suffisso “-oide” perde di

¹ <http://www.oicosriflessioni.it/2018/10/19/sito-ex-montedison-assisi/>

² Nella scheda è stato raccolto molto materiale documentale, tra cui la classificazione integrale dell'Area Montedison nel *Censimento Nazionale delle architetture del secondo novecento* pubblicato dal MiBACT nel 2018.

<http://www.architetturecontemporanee.beniculturali.it/architetture/index.php>

³ <http://www.oicosriflessioni.it/2018/10/20/architetture-contemporanee-ad-assisi-e-dintorni/>

⁴ <http://www.treccani.it/vocabolario/oide/>

oide [dal gr. -οειδής, dove -ο- è la vocale tematica della parola precedente e -ειδής l'elemento compositivo che significa «simile a», affine a εἶδος «aspetto»; lat. -oides]. – 1. Suffisso di numerose parole composte derivate dal greco (come adenoide, antropoide, romboide, da ἀδηνοειδής, propr. «che ha forma di ghiandola», ἀνθρωποειδής «simile a uomo», ῥομβοειδής «che ha forma di rombo o losanga»), o più spesso formate modernamente sul modello greco, nelle quali indica in genere somiglianza di forma, di aspetto, di natura o comunque relazione, analogia, affinità con la cosa indicata dalla parola cui viene aggiunto.



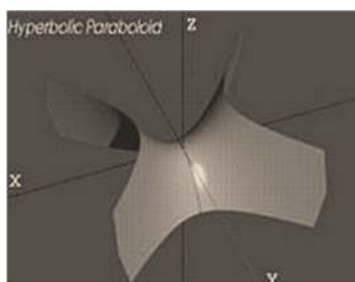
“pericolosità” e, anzi, fa acquistare al morfema cui si aggancia un senso di positiva e compiaciuta partecipazione alla complessità.

Il *quadrato* e il *rettangolo* sono figure “immediate”, così pure il trapezio, definire il *rombo* ci impegna appena di più ma, siamo in grado di dire cosa sia il “*romboide*”? No, il “romboide” no. A dispetto di Euclide che, nella sua *XXII definizione*⁵ accorpa ed esplicita tutte le figure quadrilatera - senza eccezioni - il richiamo al “romboide” ci proietta in una sorta di universo superiore dal quale ci sentiamo attratti pur consci di non essere preparati ad entrarvi.

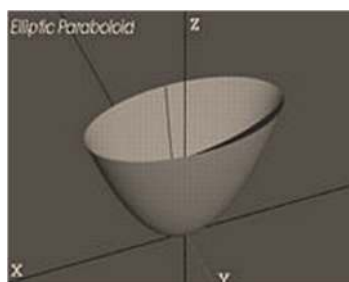
Lasciamo Euclide (IV sec. a.C.) e incontriamo Apollonio di Perga (III sec. a.C.) al quale si deve la moderna definizione di “cono” e, conseguentemente, la formulazione delle tre “curve coniche”, ovvero *ellisse*, *iperbole* e *parabola*, originate ciascuna da piani diversamente secanti la (le) falda (e) del cono. Pur rimanendo ancora nel campo della geometria elementare, la familiarità che sentiamo – in particolare per “parabola” - deriva più dalla trasposizione dei termini nel campo della retorica che non dalla consuetudine alla frequentazione dei “luoghi geometrici”.

Dalle tre “coniche”, ripetiamo, curve nel piano, il passaggio nel mondo delle superfici, nello “spazio” significa parlare di “quadriche”, superfici algebriche di secondo ordine, nel cui insieme vanno annoverati *cono*, *cilindro* e *sfera* ma, anche superfici per così dire, meno familiari per le quali torna utilissimo il suffisso con cui si è dato inizio a questa conversazione: *ellissoide*, *iperboloide a singola e doppia falda*, *paraboloide ellittico* e *paraboloide iperbolico*.

A questo punto, evitando di addentrarci in noiose definizioni analitiche, e facendo riferimento alle immagini che seguono, chiariamo che di entità “paraboloidi” ne esistono due: il *paraboloide iperbolico* e il *paraboloide ellittico*.



Paraboloide iperbolico



Paraboloide ellittico

Anche un osservatore poco attento non avrà difficoltà a riconoscere che con i cosiddetti “paraboloidi Nervi e Morandi” le superfici citate ben poco hanno a che fare.



La cosiddetta “struttura Morandi”

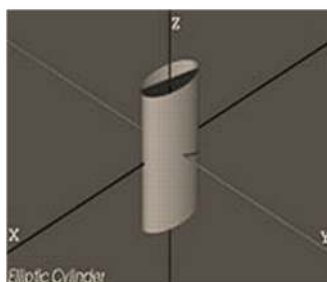


La cosiddetta “struttura Nervi”

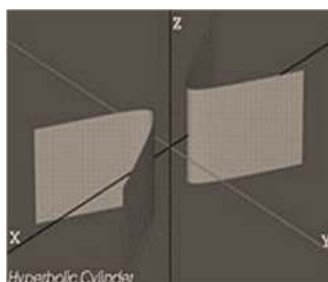
⁵ Libro I degli Elementi, XXII def. - *Delle figure quadrilatera, è quadrato quella che è insieme equilatera ed ha gli angoli retti, rettangolo quella che ha gli angoli retti ma non è equilatera, rombo quella che è equilatera ma, non ha gli angoli retti, romboide quella che ha i lati e gli angoli opposti fra loro ma, non è equilatera né, ha gli angoli retti. E le figure quadrilatera oltre a queste si chiamino trapezi.*



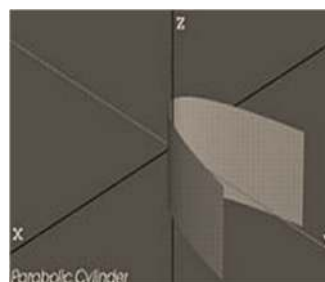
Difatti, si tratta non di “paraboloidi” ma, di “cilindri” ovvero *superfici luogo geometrico delle rette parallele a una retta data, passanti per i punti di una data curva* (direttrice del cilindro, aperta o chiusa che sia).



cilindro ellittico



cilindro iperbolico

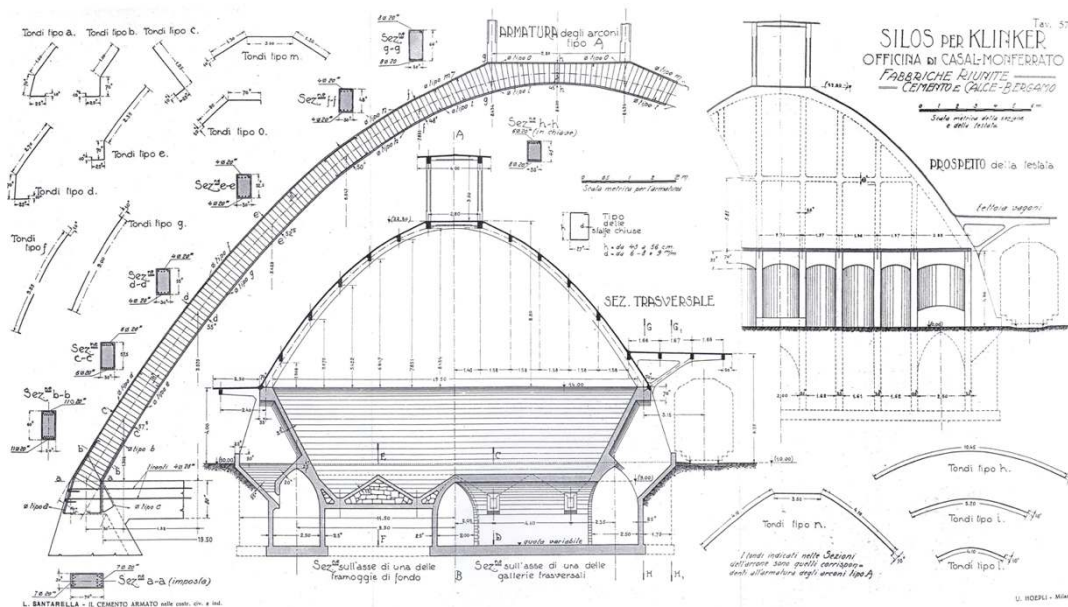


cilindro

Se la direttrice è una conica (cilindro “quadrico”) e, in specifico una parabola, la superficie che viene a crearsi con lo “scorrere” della retta generatrice sulla curva direttrice è il **cilindro parabolico**.

Il disegno che segue si riferisce a quella che viene considerata la prima grande struttura a volta parabolica italiana, realizzata nei primi anni venti del secolo scorso a Casale Monferrato (progetto ingegner Radici, Bergamo), circa trenta anni prima delle strutture di Santa Maria degli Angeli.

Che l'ingegner Radici padroneggiasse geometria e statica è fuor d'ogni dubbio, eppure il titolo di questa bellissima tavola tecnica è, nella sua pragmatica semplicità, “**SILOS per KINKLER**”.



Oggi, un'intera sezione del sito istituzionale del Comune di Casale Monferrato è dedicata al “Paraboloide”, lettera iniziale maiuscola. ⁶

Evidentemente - a Casale come ad Assisi o a Porto Recanati - il nome derivante dalla destinazione d'uso non conferiva a questi “oggetti” l'enfasi desiderata, necessità peraltro del tutto estranea agli anni della costruzione degli stessi. Ancor meno ispirante deve essere parso il ricondursi alla “specie” geometrica dei cilindri parabolici, poiché del “cilindro” pochi sono i tratti appartenenti al senso comune del termine.

Fortunatamente, in soccorso dei moderni tassonomisti, il suffisso “-oide” si è agganciato alla radice, ottenendo, con buona pace di Apollonio di Perga, un nome dal suono “giusto” ancorché scientificamente inesatto e disancorato dalle origini: **paraboloide** (...lettera iniziale minuscola).

⁶ Per approfondimenti: Il paraboloide di Casale Monferrato - <http://www.comune.casale-monferrato.al.it/paraboloide>



Parte seconda

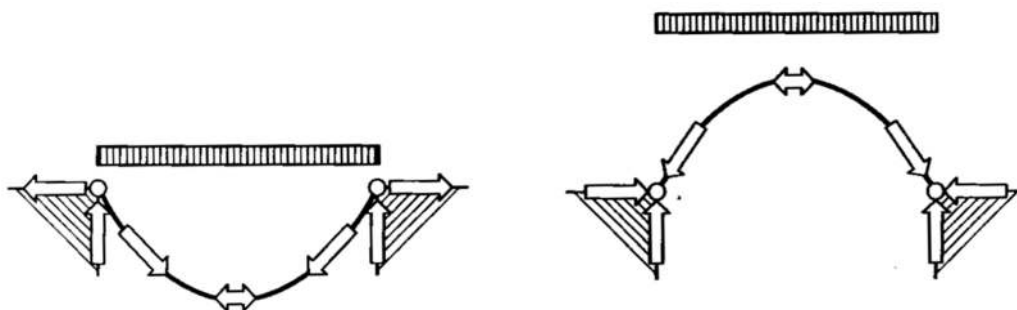
La statica: “perfetta imperfezione”

In termini generali le *strutture* possono essere ricondotte a due grandi famiglie, a seconda di come esse reagiscono alle azioni esterne: la prima famiglia si affida a comportamenti “per *massa*”, la seconda “per *forma*”.

Appartengono alla prima le *travi*, che rispondono alle sollecitazioni in funzione del momento d'inerzia della sezione. Gli *archi* e le *funi*, invece, appartengono al secondo gruppo, sopportando i carichi esterni grazie alla loro forma geometrica, tanto più efficace quanto più vicina alla *curva funicolare* dei carichi.

Ma, cos'è una *funicolare*?

L'origine del termine è intuitiva: una fune sottoposta ad un sistema di carico esterno assume una configurazione deformata, detta *funicolare*, funzione sia dell'intensità che della posizione dei carichi esterni agenti. Lo stato tensionale interno alla fune è di pura trazione. Capovolgendo la funicolare appena trovata si ottiene una nuova struttura che a differenza di quanto accadeva in precedenza, risulta soggetta a sole forze di compressione. In astratto la struttura potrebbe essere costituita da elementi semplicemente accostati l'uno all'altro.



Tutti abbiamo in mente l'immagine dei “modelli funicolari” di Gaudì, centinaia di cordoni di canapa sospesi al soffitto per i due estremi, caricati di sacchetti di sabbia di peso proporzionale a quello che poi dovrà sopportare la struttura: “*in tal modo si delinea la forma logica, nata dalla necessità*”.

La forma funicolare per un arco rigido con carico uniformemente distribuito lungo la luce orizzontale è *parabolica*, analogamente a quanto accade nelle funi. Ovvero, l'arco parabolico trasforma il carico ripartito uniformemente sull'orizzontale in *sforzo normale* puro all'interno della sua sezione generica.

Per la precisione, è l'arco parabolico a tre cerniere (isostatico) ad essere “funicolare” del carico distribuito uniforme, intendendo con questo che la struttura riesce ad equilibrare il carico esterno grazie ai soli sforzi normali (in questo caso, di compressione), risultando in ogni sua sezione nulli i valori delle sollecitazioni taglianti e flettenti.

Corollario evidente è che la condizione di “struttura funicolare” è quella che realizza il miglior “sfruttamento” del materiale.

Tutt'altro che secondaria è, inoltre, la sostanziale irrilevanza delle incognite iperstatiche nell'equilibrio della struttura. In termini più espliciti, individuata una struttura principale (isostatica), laddove questa risulti funicolare del carico applicato, si può prescindere dall'effetto delle incognite iperstatiche nella determinazione dello stato di sollecitazione, limitando lo studio alla sola struttura principale.

Nel caso degli archi parabolici, quanto detto sta a significare che le caratteristiche di sollecitazione di un arco a due cerniere o di uno con le estremità incastrate (entrambi schemi iperstatici) poco si discostano da quello – notevole – di arco a tre cerniere (isostatico).

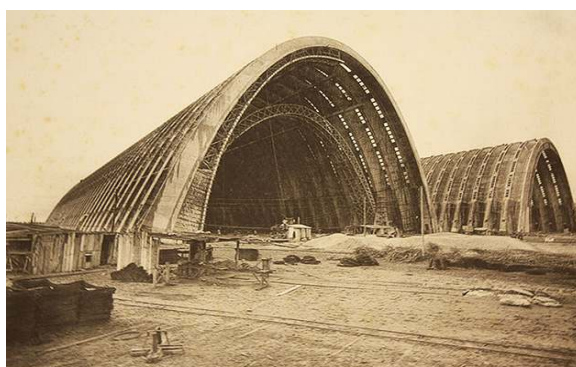
Dal punto di vista ingegneristico si tratta di una condizione di grande vantaggio, poiché consente un adeguato controllo dello stato di sollecitazione, pur con approcci “calcolativi” semplici, anche di quelle strutture che nascono “naturalmente” iperstatiche, quali quelle in “cemento armato”.



A questo proposito vale ricordare come gli ultimi decenni del XIX secolo ed i primi del XX vedono il grande sviluppo delle esperienze prima e, delle conoscenze poi, nel campo della tecnica e tecnologia del “cemento armato”.

In Italia, è del 1883 la registrazione del brevetto del “fioraio” Monier e del 1892 quello del “muratore” Hennebique, nel 1894 viene messo a punto un metodo di calcolo approssimato per la verifica delle sezioni in “cemento armato” (teoria dell’elasticità e omogeneizzazione della sezione composta), nel 1907 viene emanata la prima normativa nazionale che regola le costruzioni in cemento armato, nel 1911 il ponte Risorgimento – sul Tevere, a Roma - conquista il primato di luce libera per archi in cemento armato.

Nel 1923, in Francia, Fressynet realizza ad Orly i due grandi hangar per dirigibili con una serie di archi parabolici accostati e, degli stessi anni (1921-1923) in Italia, a Casale Monferrato, è la realizzazione del “*silo per kinkler*” – anch’esso a sezione parabolica - su progetto dell’ingegner Radici (vd. “parte prima”): il tema del superamento di grandi luci non è più prerogativa esclusiva delle strutture in acciaio.



Orly (FR) - Hangar per dirigibili (Fressynet)

Veniamo a noi.

Le strutture ad arco parabolico di Santa Maria degli Angeli vengono datate al 1948 la più grande - a valle, adiacente alla ferrovia - e alla metà degli anni ‘50 quella a monte, di dimensioni più contenute.

Quest’ultima potrebbe essere definita “modernamente ortodossa”: molto pulita concettualmente, con le nervature



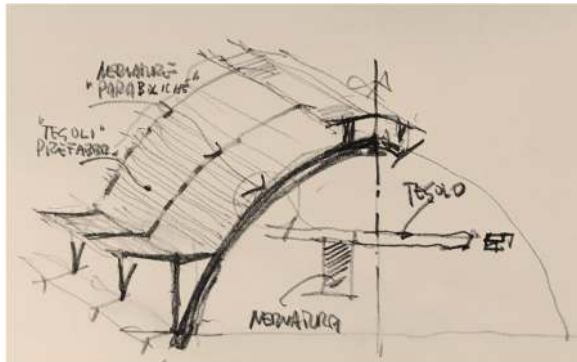
in cemento armato che seguono fedelmente l’imposizione geometrica della parabola dal piede al vertice e con la superficie voltata realizzata (in origine, oggi non più...) con tegoli prefabbricati - anch’essi in calcestruzzo - appoggiati alle nervature.



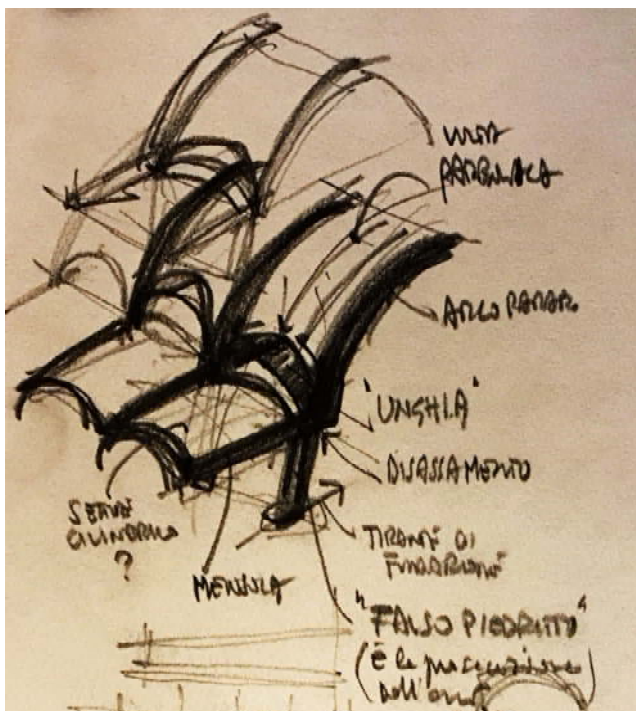
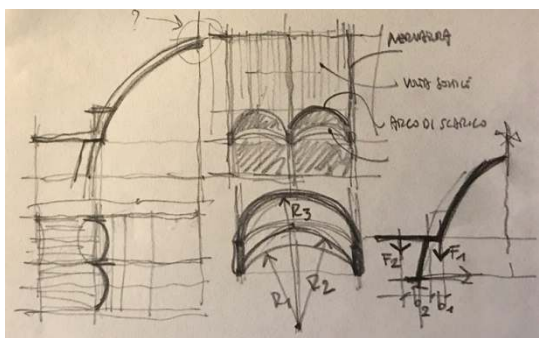
Più o meno quello che faremmo oggi, con una struttura principale (le *nervature*) ed una secondaria (i *tegoli*) staticamente riferita alla prima.

Le tettoie esterne addossate ai lati lunghi del corpo principale sono anch'esse strutture secondarie, realizzate con membrature verticali ed orizzontali dedicate, tali da limitare al minimo l'interferenza statica tra la struttura principale (le nervature paraboliche) e la struttura della tettoia che, laddove fosse brutalmente sbalzata dalle singole nervature, avrebbe comportato una compromettente "distorsione" della curva funicolare.

La "perfezione", vien da dire, va salvaguardata.



La struttura più grande – quella del 1948 – è invece completamente realizzata in opera e, soprattutto, presenta una gerarchia statico-relazionale tra le componenti assai più complessa.



La traccia direttrice della struttura è oggi solo parzialmente percepibile, negata nella sua completezza da decenni di interventi di "ruvida incisività". Solo le due testate consentono ormai la lettura della potente eleganza dello schema strutturale e la dimensione basilicale della serie voltata è relegata al piano "ammezzato" del blocco Ovest.

Eppure, nonostante gli impietosi addendi cui è stata costretta, la struttura mantiene un fascino assoluto. Anche all'osservatore non introdotto all'arte del costruire, quell'*arco* offre una percezione di rassicurante, naturale efficienza, quasi fosse *dichiarato* che la famiglia degli "archi" parabolici sia particolarmente affine ad una condizione di pacata stabilità.

Un po' come quando si è davanti ad un albero, così, "naturalmente" in equilibrio.



Le nervature a sezione rettangolare sono intervallate tra loro di oltre dieci metri, la superficie vera e propria del guscio (il “cilindro parabolico”) è sottilissima, dell’ordine di pochi centimetri e, soprattutto, le mensole di sostegno delle tettoie - di oltre otto metri di profondità - sbalzano direttamente dal corpo di ciascuna nervatura.

L’equilibrio del “guscio” è affidato esclusivamente alla “forma” essendo lo spessore dello stesso così modesto da rendere impraticabile alcun comportamento flessionale efficace.



Al piede, ogni “fibra” del guscio scarica sull’unghia ad arco che protegge le grandi superfici di ventilazione che si aprono tra nervatura e nervatura, appena sopra le tettoie. Ciascuna “unghia”, a sua volta, scarica nel corpo della nervatura, reincanalando in questa gli sforzi cui si è assoggettata per mantenere in equilibrio il “guscio”.

Fin qui, è evidente, siamo ancora nel campo di una “classica perfezione”.

È però appena al di sotto dell’unghia, all’innesto della potente trave a mensola della tettoia con la nervatura “parabolica”, che la “classica perfezione” non basta più.

La scelta di lasciare libero da montanti lo spazio al di sotto delle tettoie e quindi affidare l’equilibrio delle stesse ad uno schema di “mensola” comporta, inevitabilmente l’insorgere, nel nodo, di importanti sollecitazioni flessionali, con l’effetto, tutt’altro che secondario, di “sporcare” la limpida quanto efficiente linearità della curva delle pressioni della

nervatura.

L’asse del tratto di piede della nervatura viene quindi avanzato verso l’esterno, creando così un “braccio” tra l’azione “normale” del ramo superiore della nervatura e quella del tratto inferiore, ottenendo un “momento equilibrante” ragionevolmente di pari entità di quello “sollecitante” indotto dallo sbalzo.

Una distorsione della perfezione geometrica che ha come effetto l’annullamento della distorsione statica. Insomma, un’imperfezione è la chiave dell’equilibrio.

Una “**perfetta imperfezione**”.