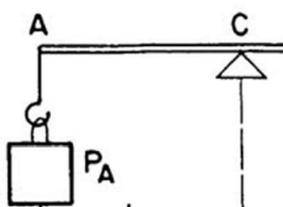
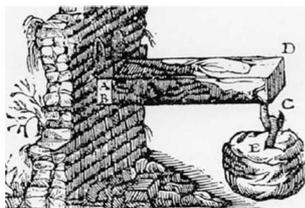


# 1

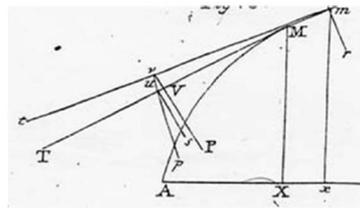
1. Istruzioni per scaricare materiale didattico dal mio sito: <http://www.giuseppestagnitto.it/>
2. La stretta correlazione tra Scienza delle Costruzioni e Tecnica delle Costruzioni.
3. La conoscenza dello Sviluppo Storico della nostra disciplina ha utilità operativa in quanto permette quella “critica del giudizio” che giustifica i modelli di calcolo adottati nei casi concreti.
4. Dà rassicurazione intellettuale sapere che si mantiene un nucleo certo di conoscenze che una generazione trasmette alla successiva. Possiamo propriamente parlare di *sviluppo* scientifico perché la rilettura delle idee del passato, alla luce di un superiore ordine di idee, non le cancella. La storia della Scienza delle Costruzioni deve essere scritta dai suoi studiosi, non dagli storici.
5. Senso della critica alla tesi di Thomas Kuhn sull'*incomunicabilità* tra generazioni di scienziati separate da una cosiddetta “rivoluzione scientifica”.
6. Nello sviluppo della meccanica, i simboli utilizzati *estendono* il loro significato ma (come avviene analogamente per l'insieme sempre più vasto dei numeri) si conserva l'*isomorfismo* tra un sottinsieme dell'insieme più vasto e l'insieme originario. E' proprio dalla matematica che abbiamo appreso il segreto dell'arte nella costruzione delle teorie scientifiche: ogni ente deve conservare le proprietà acquisite pur facendo parte di un insieme più vasto.
7. Il simbolo di forza usato da Archimede (uno scalare che rappresentava il “peso” di un corpo) non poteva comprendere, ad esempio, il concetto di “reazione vincolare”. Capire lo sviluppo storico è innanzitutto comprendere la differenza tra il *cambiamento* e l'*estensione* del significato di un termine.
8. Cinque tappe nello sviluppo storico del concetto di forza.



1. Azione esterna



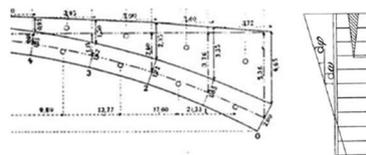
2. Azione interna limite



3. Azione interna elastica



4. Azione esterna geometrica



5. Azione interna geometrica

- Archimede: azione esterna;
- Galileo: azione interna resistente (limite);
- Eulero: azione interna agente (elastica);
- Navier: azione esterna geometrica (iperstatica);
- Castigliano: azione interna geometrica (distorsione).

9. Critica alla contemporanea teoria sull'*evoluzione darwiniana* della conoscenza, per cui idee scaturite per caso sopravvivono solo perché più adatte: la logica della loro scoperta sarebbe solo una ricostruzione "a posteriori" (come quando si dice che *la storia la scrivono i vincitori*).

Al contrario, la scoperta scientifica si identifica con la logica stessa che l'ha resa possibile.

Per questo motivo la scoperta scientifica coincide con la *contemporanea rilettura storica* (alla luce della revisione degli schemi intellettuali generata dal nuovo concetto) *dello stato della conoscenza*.

10. L'abitudine all'astrazione della matematica è il risultato di un processo "iniziativo".

Necessità di meditare, anche in seguito, e a più riprese, sui contenuti di questa Introduzione.

Il concetto di "macchina semplice".

Il metodo platonico di "riduzione alle ipotesi".

11. L'equilibrio statico è il segno dell'indifferenza della Natura che non riesce a far compiere alle forze nessun lavoro. La Natura è rigorosamente "calcolatrice": non si muove se non è ripagata dalla sua moneta che è il "lavoro delle forze".

Avendo compreso questo, la meccanica, per noi moderni, non è più considerata l'*arte di ingannare la Natura* (anche se certa cultura contemporanea, confondendosi, crede ancora che la scienza sia il modo di superare le leggi naturali).

Poiché la simmetria produce l'equilibrio, capovolgendo il discorso, ad ogni equilibrio ci aspettiamo corrisponda una qualche forma (anche nascosta ai sensi) di simmetria.

12. Ogni invenzione meccanica è la rilettura, a nostro vantaggio, di una costrizione della natura. Questa rilettura riguarda la visione concettuale del cosmo, di cui è stato annunciatore Socrate con la felice immagine della "seconda navigazione" (nel Fedone).

In un libro dedicato al pensiero scientifico degli antichi (*Da Talete a Platone*) Cassirer scrive che, senza la trascendenza platonica, cioè la separazione tra mondo sensibile e mondo intelligibile, non poteva nascere la scienza che è fondata proprio sulla rilettura concettuale di ciò che i sensi percepirebbero direttamente.

Il Fedone è il manifesto di questa visione concettuale del cosmo, per cui vediamo concettualmente il cerchio perfetto che non ritroveremo mai in natura. La magna carta della nascita della scienza antica è il passo del Fedone dedicato alla "seconda navigazione" (Socrate aveva seguito i filosofi naturalisti ma era rimasto nelle secche, così aveva dovuto ricorrere ai remi, vale a dire al metodo nuovo fondato sul logos):

*Credetti bene guardarmi da questo, che cioè non mi capitasse come a coloro che durante una eclissi contemplano e indagano il sole.*

*Alcuni infatti ci perdono gli occhi, se non si limitano a considerarne l'immagine riflessa nell'acqua o in qualcos'altro di simile.*

*E così pensai anch'io, e temetti mi s'accesse del tutto l'anima a voler guardare direttamente le cose con gli occhi e a cercare di coglierle con ciascuno dei sensi.*

*E mi parve che bisognasse rifugiarmi nei concetti, e considerare in essi la realtà delle cose esistenti.*

Senza questa trascendenza (per cui il nostro pensiero si sottrae al vortice delle cose di Democrito) la scienza è impossibile.

13. La leva solleva il mondo ma *non basta per capire le strutture*. Infatti non bastano le leggi dell'equilibrio per costruire la Scienza delle Costruzioni. Inoltre occorrono "leve intellettuali" come il simbolo e l'analogia.

14. L'analogia, prezioso strumento di invenzione e di interpretazione, è una felice associazione del pensiero per cui ciò che è ancora ignoto viene ricondotto a ciò che è già noto.

L'utilizzo esplicativo dell'analogia non obbedisce ad un intento divulgativo, ma, al contrario, alle leggi stesse del pensiero.

Vi è un passo attribuito al pitagorico Filolao per cui "la conoscenza deve seguire la natura dello gnomone".

Ricordiamo che Erone definiva *gnomone* ogni figura geometrica che aggiunta ad un'altra figura la manteneva simile a quella di partenza, amplificava cioè mantenendo la similitudine.

Se "l'anima è un logos che si accresce" secondo la celebre sentenza di Eraclito, solo scoprendo in una serie di cose un principio di identità noi possiamo comprendere (cioè, letteralmente, prendere con noi).

L'analogia è precisamente questa operazione intellettuale per cui una felice associazione del pensiero riconduce ciò che sembrava ignoto a ciò che in realtà noi già conosciamo, in quanto capaci dell'estensione del modello precedente.

Consideriamo l'analogia tra la propagazione della luce e la propagazione del suono introdotta da Huygens nel 1678.

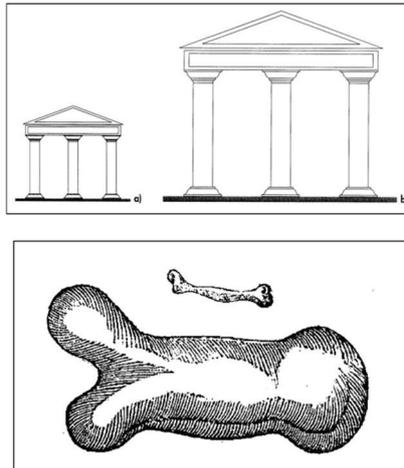
*"Huygens non mostra di congetturare prima una teoria e di aggiungere poi ad essa una visualizzazione; al contrario, il modello è la via con cui egli pensa la sua teoria" ... "Il concetto teorico è una metafora: esso è perfettamente significativo fin dall'origine e non ha bisogno di una interpretazione logicamente distinta dalla sua formulazione" (M. Pera, Apologia del metodo, Bari, 1996).*

Simone Weil, in una lettera al filosofo Alain, esprime un concetto simile in modo particolarmente incisivo:

*"Solamente l'analogia dà la possibilità di pensare in un modo che è allo stesso tempo assolutamente puro ed assolutamente concreto. Si pensano soltanto cose particolari e si ragiona solo sull'universale (...)"*

1. La più ingenua teoria strutturale si fonda sulle dirette proporzioni visuali (Vitruvio). Galileo ha scoperto, invece, che la statica non ha “tutte le ragioni sue nella geometria”.

*Più potente è l'armonia nascosta di quella manifesta (Eraclito)*

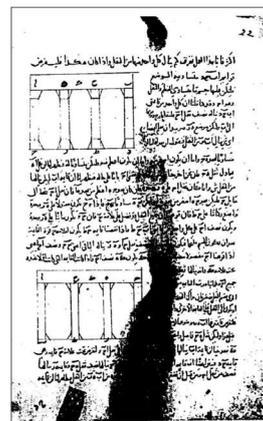
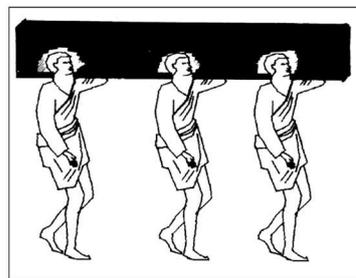


2. Non esiste un gigante “aggraziato”. Infatti la resistenza non può mantenersi salvando il rapporto di similitudine geometrica.

3. L'invariante che assicura la stessa “resistenza” è più astratto del semplice rapporto tra le dimensioni. Per questo motivo non è percepibile all'epidermide del processo conoscitivo, vale a dire al livello della nostra sensibilità.

4. Presentazione di un esempio su cui meditare un tempo sufficientemente prolungato: il problema dei tre portatori.

### *Sensibilità statica e costruzioni*



5. Il modello di calcolo con appoggi non cedevoli e il quesito conseguente ad un'evidenza sperimentale che contraddice il risultato di questo calcolo.

6. Risoluzione del quesito sulla base di un differente modello di calcolo.

## SINTESI CHIARIFICATRICE

L'aspetto paradossale consiste nel fatto che, *come faceva erroneamente Erone, pensiamo sia lecito sostituire uomini alle colonne*. Questi però sono molto più deformabili della trave e quindi ricevono metà del peso della trave se questa è divisa in due tronchi, ma ricevono un terzo del peso della trave se questa è continua.

Il portatore centrale è quindi alleggerito dalla continuità della trave. Quando noi – per comprendere il funzionamento strutturale - ci immedesimiamo con la colonna centrale arriviamo ad una conclusione erronea e ci meravigliamo che il calcolo possa dirci il contrario.

L'esempio è molto istruttivo perché dimostra che è errato affermare che la sensibilità statica è quasi un umano sentire le tensioni delle costruzioni.

7. Risultati dei calcoli secondo i due modelli (FILMATO)

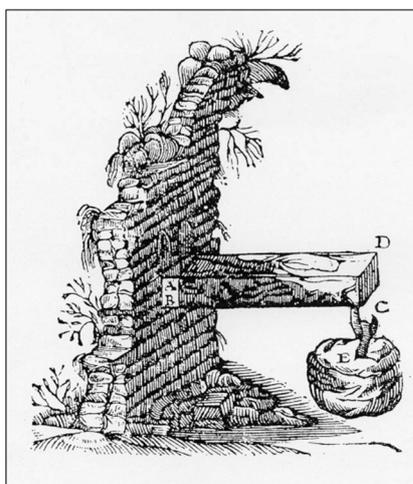
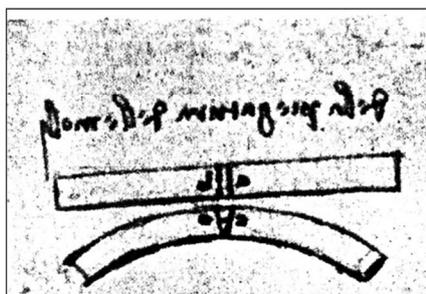
8. Il fraintendimento del concetto di "sensibilità statica".

CONCLUSIONE: la *sensibilità statica* dell'ingegnere non usa gli strumenti dell'immaginazione sensibile, ma quelli dell'immaginazione astratta, addestrata dal formalismo della matematica.

1. L'importanza di meditare pazientemente sui concetti esposti nell'Introduzione al Corso, al fine di facilitare la comprensione degli esempi storici che saranno riportati nel seguito.

Un esempio storico fondamentale riguardo la cosiddetta "intuizione" del comportamento strutturale: il posizionamento dell'asse *neutro* nelle riflessioni di due persone *geniali*: Leonardo e Galileo.

## L'intuizione *elastica* di Leonardo e la *leva angolare* di Galileo



2. Errato posizionamento dell'asse neutro da parte di Galileo, uno dei più acuti osservatori di tutti i tempi.

Egli pensava che la sezione di incastro, in una mensola, fosse tutta tesa.

Corretto posizionamento dell'asse neutro da parte di Leonardo da Vinci, le cui straordinarie intuizioni e scoperte non cessano di stupire gli studiosi contemporanei.

3. Nel modello di Galileo di trave inflessa, la reazione vincolare non gioca alcun ruolo. Si equilibrano momento resistente ultimo nella sezione di incastro e momento agente.

4. Un significativo "koan" nelle ricerche di meccanica strutturale di Eulero: *come possono, i due tronchi in cui idealmente suddividiamo una trave, scambiarsi una forza esterna alla trave stessa?*

Invito agli allievi del Corso a *sciogliere* da se stessi questo koan: la risoluzione dell'enigma darà loro una profondità di comprensione di cui godranno i frutti in futuro.

Sarà in ogni caso certamente ripagato anche il loro sforzo apparentemente inconcludente perché ogni sincera disposizione all'attenzione moltiplica le potenze dell'intelletto.

La prima rappresentazione della forza di taglio. Differente scomposizione (rispetto a quella oggi in uso) della risultante delle azioni interne.



Sono, ad esempio conclusioni *paradossali* le seguenti:

- nelle costruzioni a telaio di calcestruzzo armato con travate di grande luce, la faccia interna alla base dei pilastri è solitamente tesa (cosa non creduta vera da nessun operaio);
- l'operazione di cerchiatura di una cupola può aumentare la spinta sul tamburo d'imposta;
- in una trave su tre appoggi quello intermedio riceve un maggior carico se la trave è continua.

9. Valore culturale e filosofico degli studi di Ingegneria. La vertigine provocata dal paradosso di Zenone derivava dal pregiudizio empirista che ci faceva credere che, per coerenza intellettuale, il nostro pensiero dovesse veramente percorrerli tutti quegli infiniti spazi sempre più piccoli che ogni volta mancavano. Invece questi oggetti della nostra riflessione sono concetti logici che, colti nella loro relazione funzionale, si possono coerentemente comprendere (*cum-prendere*) senza necessità di enumerarli.

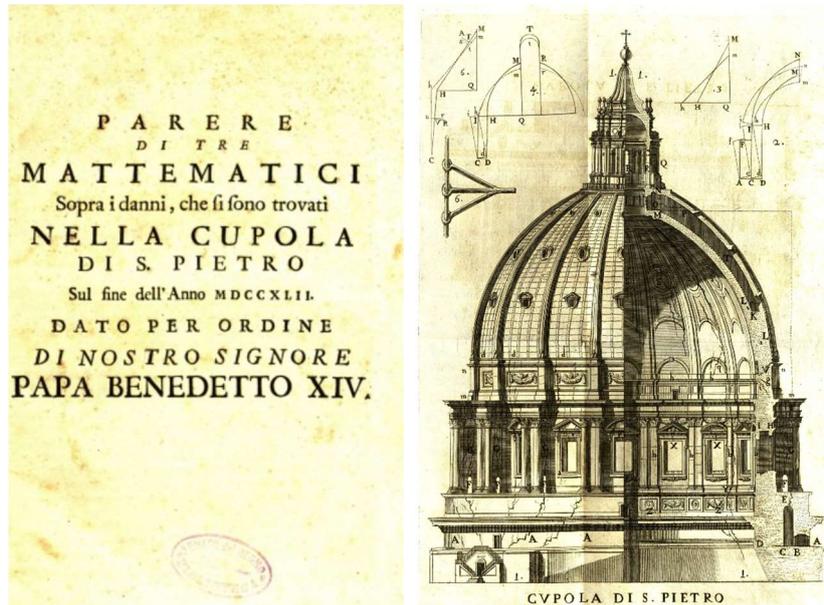
10. E' quindi la "contemplazione" il vero fine della nostra attività intellettuale e il fine dei vostri studi universitari: cioè la capacità di "considerare" (ricercare l'etimologia della parola) "*innumerevoli cose sotto il raggio di un'unica visione*". Questi processi di riorganizzazione del nostro pensiero permettono di comprendere meglio le piccole e le grandi tappe nella storia dello sviluppo scientifico e in particolare quelle della meccanica delle strutture.

11. La revisione degli schemi intellettuali che trasforma un'antinomia in paradosso ha infatti analogia con gli avanzamenti della scienza: in entrambi i casi, ad ogni tappa significativa, "cambia il modo di pensare", grazie a simboli nuovi o al significato nuovo dei vecchi simboli.

12. Per studiare le strutture inflesse isostatiche bastano le equazioni di equilibrio (se rinunciamo ad ottenere la deformata).

Invece, la comprensione della teoria generale della flessione, che si basa sulla proporzionalità tra momento e curvatura, richiede di afferrare idee astratte di ordine elevato, come il concetto di derivata seconda, ordinariamente precluse al cosiddetto "uomo della strada".

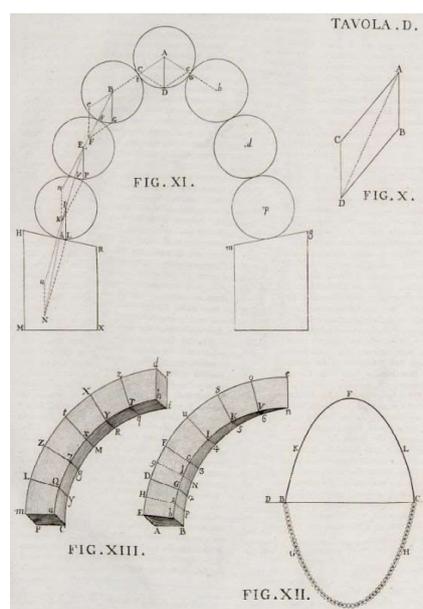
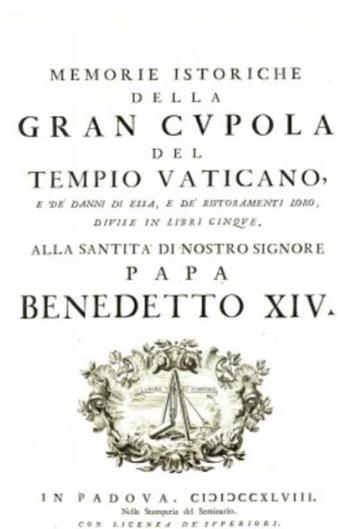
1. La prima applicazione della matematica ad una costruzione reale: la cupola di San Pietro a Roma. Incarico alla *Commissione dei tre matematici* (1742) tra cui il gesuita Boscovich, che poi fu professore di matematica a Pavia.



2. Il metodo di calcolo adottato dai tre matematici precorre il cosiddetto "metodo cinematico" del calcolo al rottura. Questo metodo moderno di analisi limite ricava, per un qualunque *cinematismo compatibile*, il moltiplicatore di collasso in base al *bilancio dei lavori virtuali* delle forze esterne e delle azioni resistenti interne. Il moltiplicatore così ricavato approssima per eccesso quello vero del modello di calcolo.

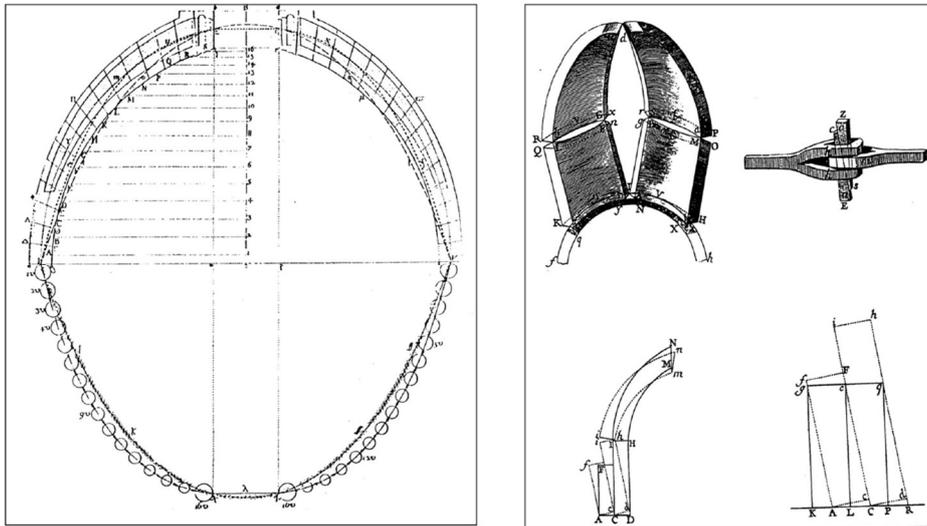
Il cinematismo compatibile usato dai tre matematici era stato ottenuto osservando le lesioni reali prodottesi nella cupola.

3. Il metodo di calcolo adottato dal Poleni (incaricato nel 1743) precorre il cosiddetto "metodo statico" del calcolo al rottura.



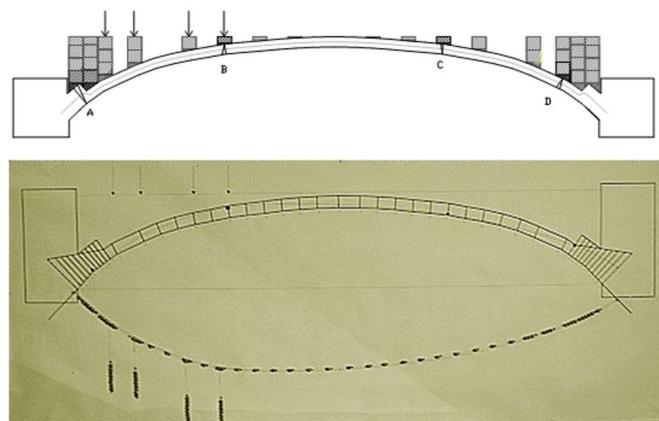
Questo metodo moderno di analisi limite ricava, per una qualunque *soluzione equilibrata*, il moltiplicatore di collasso in base alla *condizione limite di rispetto della resistenza*. Il moltiplicatore così ricavato approssima per difetto quello vero del modello di calcolo.

Poiché il Poleni si occupò della sola cupola, mentre la Commissione dei tre matematici indagò sul complesso cupola-tamburo, i calcoli sono riferiti a differenti modelli.



4. Esame del calcolo analogico del Poleni. Una fune caricata da pesi proporzionali alle forze reali, è un mirabile esempio di calcolatore analogico: variando la posizione dei suoi estremi e variandone la lunghezza, possiamo, senza alcun calcolo analitico, trovare tutte le soluzioni equilibrate (ovvero l'insieme dei poligoni funicolari connettente le forze date). Rilettura del procedimento del Poleni alla luce dei moderni concetti del calcolo a rottura: egli ha trovato una soluzione equilibrata e rispettosa della resistenza (in quanto la linea delle pressioni era sufficientemente interna in ogni sezione). Le sfere appese alla catenella avevano pesi proporzionali ai carichi permanenti; a ragione, Poleni concluse che per quei carichi la cupola era sicura (astruendo, ovviamente dal concetto moderno di "coefficiente di sicurezza").

5. Attualità dei metodi di calcolo escogitati nel settecento: prova sperimentale su un arco murario ricostruito in laboratorio, alla fine degli anni 90, per la verifica di sicurezza delle volte in un palazzo storico di Pavia.



6. Applicazione dello stesso calcolo analogico del Poleni. Ricavata con procedura variazionale la soluzione ottimale (massimo carico), si è costruita la catenaria dei pesi disuguali. Ribaltando la figura, la curva che si ottiene sfiora il contorno dell'arco in quattro punti alternativamente, all'intradosso e all'estradosso, individuando cerniere plastiche che risultano praticamente coincidenti con quelle della prova di laboratorio.

7. Esempio di applicazione del calcolo a rottura, tenendo conto dell'effettiva resistenza a compressione, per la verifica di sicurezza di un ponte ad arco in muratura.

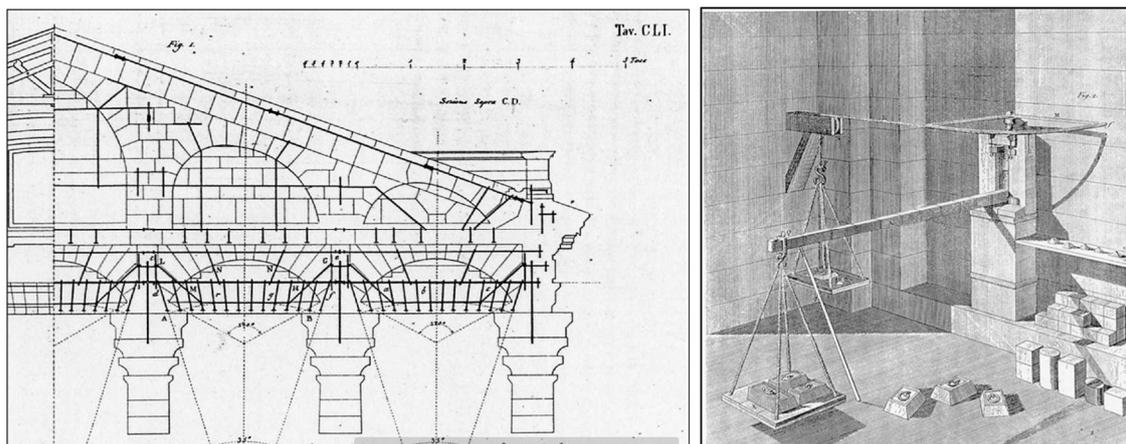
8. Applicazione di due recenti teoremi di analisi limite (definiti grazie allo studio della storia della Scienza delle Costruzioni) ad una galleria ferroviaria in Svizzera. I lavori dovevano eseguirsi senza interruzione del pesante traffico ferroviario.

9. I metodi di questi matematici del settecento non furono più compresi fino a tempi relativamente recenti. Fu Jacques Heyman a rileggerli alla luce del calcolo plastico. Nella prospettiva di Kuhn il calcolo plastico è *inconciliabile* col calcolo elastico. Invece nella nostra prospettiva di *logica epistemologica* i calcoli sono casi particolare della teoria elasto-plastica.

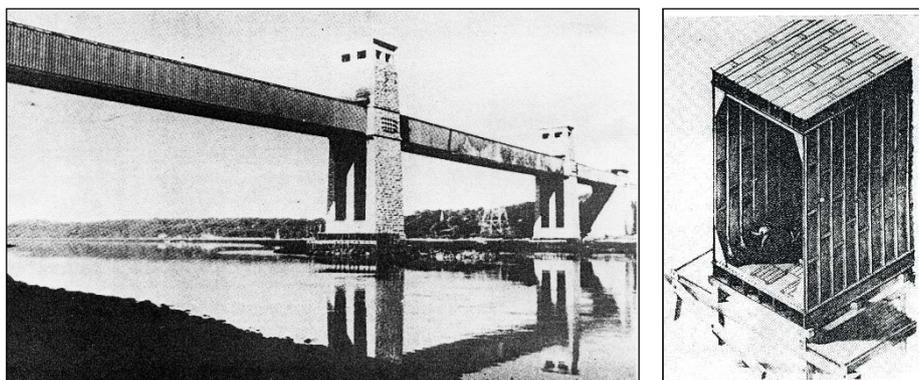
10.-13. Esempio di calcolo a rottura di una semplice trave inflessa.

14. Chiarimenti sui concetti di "vero" e di "reale" moltiplicatore di collasso.

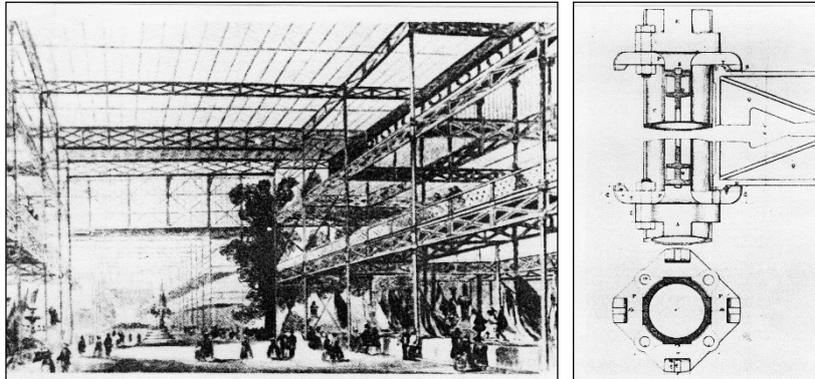
15. La costruzione, nella seconda metà del settecento, della chiesa di Sainte Geneviève a Parigi (che diventerà il monumento civile Panthéon) fu – a giudizio di J. Rondelet – “il momento in cui si incominciò a combinare assieme i dati dell'arte con quelli della teoria”. Furono costruite, con la tecnica della “pietra armata”, architravi di grande luce, mai raggiunta in passato. Inoltre si verificò sperimentalmente la resistenza della pietra usata nelle colonne, introducendo, per la prima volta il concetto di “carico di sicurezza”.



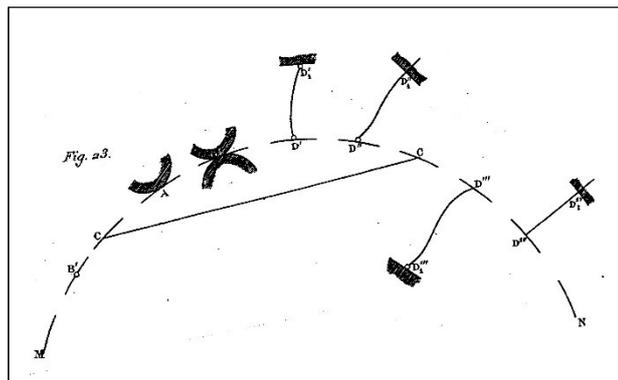
16. L'esperienza del ponte Britannia, intorno alla metà dell'ottocento, stimolò la riflessione teorica. Infatti condusse a chiarire il problema dell'instabilità delle pareti in lamiera sottile, stimolò la teoria semplificata del taglio ad opera di Jourawski e un nuovo approccio (tramite momenti iperstatici, invece che tramite reazioni verticali) alla soluzione delle travi continue.



L'esperienza, quasi contemporanea, del Crystal Palace di Londra condusse al primo calcolo a telaio (ad opera del matematico Airy). Si chiarì che il momento scambiato tra elementi verticali ed orizzontali era la chiave del funzionamento della struttura "nel suo insieme", soprattutto per resistere alle azioni orizzontali.



17. Nel libro di Giovanni Curioni (il Professore con cui si laureò a Torino Castigliano) *Arte di Fabbricare* (1873) compare quella che probabilmente è la prima schematizzazione strutturale in senso moderno. Per giungere al concetto moderno di "struttura" manca il solo passo di "rinunciare" ad individuare un "elemento principale".



## 5

1. Le 5 tappe “evolutive” della teoria delle strutture (“evolutive” in quanto frutto di una evoluzione, ovvero di uno sviluppo; non nel senso del risultato di una “evoluzione darwiniana della conoscenza”; vedi punto 9 della Parte 1 dell’Introduzione).

Non appena il concetto è stato “distillato”, ognuno di noi potrebbe sottoscriverne il contenuto: l’oggettività scientifica nasce appunto dal sacrificio dell’io.

2. Ogni tappa nell’evoluzione della teoria delle strutture corrisponde ad una rilettura della tappa precedente grazie alla quale diventiamo **consapevoli di un aspetto che essa aveva ignorato o dovuto trascurare**, quasi come fosse un fastidioso “rumore di fondo”. Questa rilettura prende spesso l’aspetto di un’**analogia risoltrice** (vedi successivo punto 17).

A questa tappa nello sviluppo della teoria corrisponde **una nuova tappa nella generalizzazione del concetto di “forza”**. E’ infatti la forza il *simbolo* fondamentale di indagine nelle teorie strutturali (si potrebbe, però, lecitamente indagare su un analogo sviluppo nel concetto degli enti duali, relativi al mondo degli spostamenti).

La cultura dell’Ingegnere gli permette di comprendere in profondità e “sul campo” gli assunti e le conclusioni delle scienze semiotiche e, più in generale, delle scienze che si occupano del pensiero formale.

Lo studio della meccanica strutturale ha un alto e pieno valore culturale e filosofico di cui l’ingegnere deve diventare consapevole.

### 3. Prima tappa: LA TRAVE GEOMETRICA

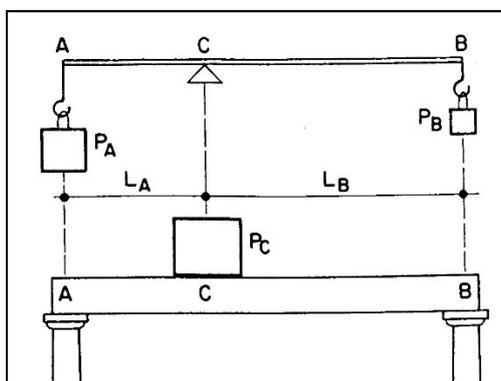


Figura tratta dal libro di A. Giuffrè *La meccanica nell’architettura* (1986)

Prima di Galileo *l’analisi strutturale si riduceva al problema di evitare cinematici*: la trave era quindi considerata puramente geometrica. Erone attribuisce ad Archimede un trattato, perduto, dedicato al tema del calcolo delle reazioni vincolari: la legge della leva permette infatti di ripartire correttamente un peso sui due appoggi.

Archimede quindi interpreta il più semplice dei problemi strutturali come una macchina semplice “congelata nello stato di equilibrio”: la trave riceve dagli appoggi le forze (esterne alla trave stessa) che darebbero l’equilibrio ad una bilancia fittizia. Tra la trave reale e quella *analogica* (la bilancia) vi è inversione del ruolo tra forze e reazioni vincolari.

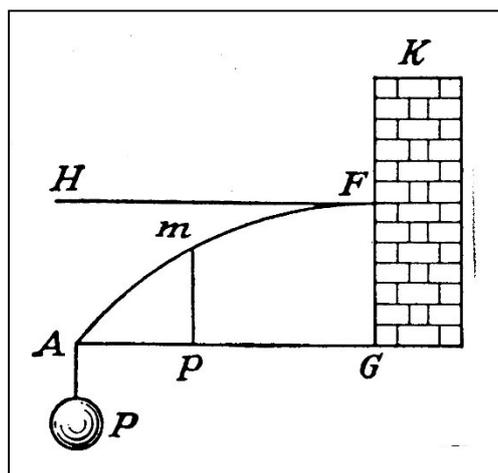
#### 4. Seconda tappa: LA TRAVE RIGIDA



Galileo introdusse il concetto di “resistenza” avente un valore finito (si tratta di una forza, non di una tensione). Il suo è un calcolo a rottura, estraneo al problema della deformazione: la trave è considerata *materiale* (vale a dire fatta di materia e quindi soggetta a rottura), ma rigida.

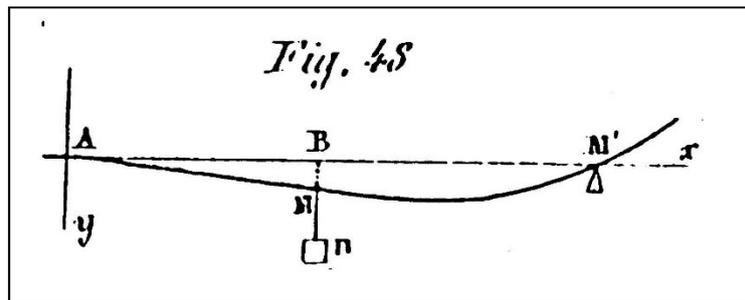
Galileo applica quindi la legge della leva ma per un equilibrio di tipo diverso (rispetto a quello di Archimede), tra il momento della forza agente ed il momento della forza resistente in una sola sezione della trave. La leva considerata è infatti “interna” alla trave.

#### 5. Terza tappa: LA TRAVE ELASTICA



La scoperta del calcolo infinitesimale rese possibile lo studio della deformata di una trave, che quindi è considerata *elastica*. Sviluppando alcuni risultati di Jacques Bernoulli, Eulero otterrà l'esplicita espressione della deformata elastica. Eulero, grazie al calcolo infinitesimale, ricava le *equazioni indefinite di equilibrio*, sulla base delle equazioni cardinali della statica, da lui stesso stabilite.

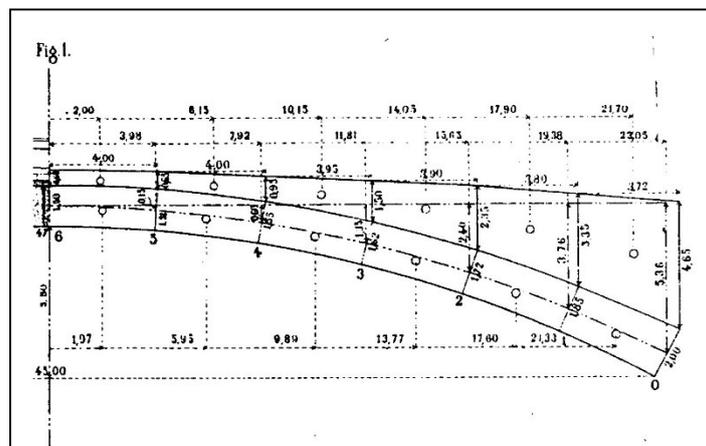
## 6. Quarta tappa: LA TRAVE IPERSTATICA



L'opera mediatrice di Navier trasferì al livello del calcolo ingegneristico i risultati dell'ambiente matematico, risolvendo, con l'equazione linearizzata della linea elastica problemi insolubili nell'ambito delle sole equazioni della statica (trave iperstatica).

Navier risolve le strutture iperstatiche sulla base della stessa analogia di Archimede: le forze incognite dei vincoli supplementari sono quelle che annullerebbero gli spostamenti concessi dalla loro soppressione. Questi spostamenti sono ottenuti sulla base di una generalizzazione del concetto di azione esterna (azione esterna geometrica), per comprendere anche gli effetti delle reazioni iperstatiche stesse.

## 7. Quinta tappa: LA TRAVE ELEMENTO



Dobbiamo a Castigliano lo schema di un procedimento generale, alla portata di ogni progettista, per la risoluzione di strutture iperstatiche in campo elastico. La sua opera di modellazione strutturale (con suddivisione di un arco in più conci e costruzione di tabelle che rendono automatico il calcolo) è una chiara anticipazione delle moderne metodologie computerizzate fondate sull'algebra delle matrici.

Grazie al suo teorema sulle derivate del lavoro di deformazione (o meglio dell'energia complementare elastica) costruisce la teoria delle strutture in base ad un unico principio (energetico).

Castigliano formulò anche il cosiddetto calcolo non lineare - quale successione di calcoli lineari - che, allo stato attuale della conoscenza, negli sviluppi computazionali più recenti, rappresenta la più generale teoria del comportamento statico strutturale.

Siamo nel cuore del Corso: invito a ritornare più volte a rimeditare il contenuto di questa introduzione.

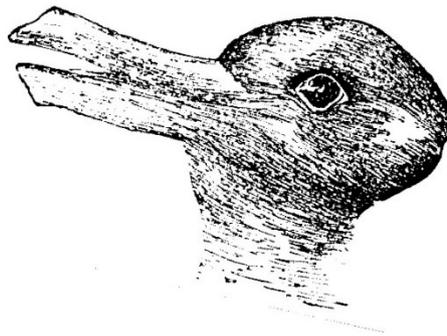
8. ANALOGIE VISUALI PER LA COMPRESIONE DELL'EVOLUZIONE SCIENTIFICA. Come noto, per mostrare il cambio di mentalità dovuto ad una svolta teorica nella costruzione delle teorie scientifiche si fa a volte uso di analogie visuali, come la famosa coppia di immagini papera-coniglio (o la coppia di immagini volti-vaso).

Sintesi della tesi fondamentale nell'opera *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* (1963), di Thomas Kuhn, storico ed epistemologo statunitense. Il suo pensiero, sulla storia della scienza (che procederebbe per rivoluzioni piuttosto che per evoluzione), si può sintetizzare intorno ai tre concetti di paradigma, anomalia, crisi. Ogni teoria scientifica consolidata costituisce per Kuhn un *paradigma*: una ricerca stabilmente fondata su uno o più risultati raggiunti dalla scienza del passato, ai quali una particolare comunità scientifica, per un certo periodo di tempo, riconosce la capacità di costituire il fondamento della sua prassi.

Ogni teoria scientifica è però esposta al rischio sperimentale della confutazione, cioè della smentita. Può avvenire di trovarsi di fronte ad un'*anomalia* - difficilmente interpretabile alla luce del corrente modello esplicativo - che provoca una *crisi*, la quale, dopo un periodo di nuova ricerca, genera una nuova teoria scientifica, vale a dire un nuovo paradigma.

Questi passaggi di teoria, secondo Kuhn, costituiscono vere e proprie "rivoluzioni" perché il passaggio da un paradigma all'altro comporta un globale cambiamento di visuale, come avviene in quelle figure che possono rappresentare - secondo gli occhi di chi guarda - una papera o un coniglio.

*Durante le rivoluzioni gli scienziati vedono cose nuove e diverse anche guardando con gli strumenti tradizionali nella stessa direzione in cui avevano guardato prima (...) Quelle che nel mondo dello scienziato prima della rivoluzione erano papere, appaiono dopo come conigli.*



Sintesi chiarificatrice della nostra critica alla teoria di Kuhn: egli ha "frinteso" il fatto che la scienza avanza per salti, cioè con tappe ben segnate di riorganizzazione della conoscenza, in quanto ne ha visto il solo aspetto estrinseco "di rottura" (soprattutto l'aspetto "rivoluzionario" delle conseguenze culturali, senza coglierne l'aspetto intrinseco di "continuità").

9. Presentazione della classica figura "ambigua" papera-coniglio, che giudichiamo *fuorviante* per la comprensione dello sviluppo scientifico. Esempio della pietra oscillante: un fenomeno che sembrerebbe dare ragione a Kuhn in quanto darebbe luogo a due successive interpretazioni scientifiche "inconciliabili".



La stessa pietra, legata ad una corda ed oscillante, appariva agli scienziati prima di Galileo come un corpo che cadeva con difficoltà e dopo Galileo come un corpo che - astratte certe resistenze d'attrito - realizzava un movimento infinito, in un continuo scambio di forme di energia.

In questo esempio sembrerebbe davvero difficile cogliere nella seconda visuale l'effetto generalizzante di una riflessione che conduce a livelli più astratti le relazioni concepite nella prima.

10. Vedere il coniglio, dopo aver visto la papera, non significa non poter più vedere la papera! (questa consapevolezza è la "chiave" della tesi di fondo del nostro Corso).

Per risolvere la questione del punto precedente, è necessario introdurre un principio esplicativo nella formazione delle teorie scientifiche che potremmo denominare *principio di concettualizzazione dell'elemento sacrificato*.

Questa concettualizzazione si manifesta in una *nuova lettura* - concessa dall'evoluzione dello strumento matematico e delle apparecchiature sperimentali - di una di quelle circostanze che accompagnavano il fenomeno indagato e che era stata o ignorata o avvertita come elemento di disturbo nella lettura degli elementi considerati invece fondamentali.

Nell'intera fisica di Aristotele ogni movimento "locale" è, a nostro parere, considerato come una transizione di stato priva di autentico significato, con l'eccezione dei movimenti "eterni" dei corpi celesti.

Dopo duemila anni Galileo scoprirà che anche il movimento sperimentato sulla nostra Terra segue leggi rigorose, impostando quel chiarimento che è la chiave di volta della legge di inerzia e quindi della meccanica moderna: non è il movimento che necessita spiegazione ma unicamente la variazione di esso.

Pertanto, il movimento, considerato nella teoria precedente un fenomeno di disturbo nella lettura degli elementi fondamentali (che per Aristotele erano semplicemente gli "stati", ovvero le occupazioni di luoghi determinati) diviene - grazie all'evoluzione della matematica e delle prove sperimentali - la chiave interpretativa della teoria successiva.

Comprendere la legge matematica del moto dà ragione sia di un teorico movimento eterno (in assenza di attriti) sia del suo reale progressivo rallentamento (in presenza di attriti).

11. Il diffuso fraintendimento del significato di "rivoluzione copernicana": la Terra e il Sole non si sono mai scambiati di posto! Il cuore della questione era più sottile: è indispensabile considerare - come voleva Aristotele - la Terra ferma in assoluto?

Riprendendo la questione del punto precedente, per Aristotele, incapace di una teoria che riuscisse ad interpretarne la legge, il movimento era intrinsecamente privo di significato e quindi era un autentico "elemento di disturbo".

Invece Galileo, avendo scoperto la legge matematica del movimento, ha dato significato concettuale alla "transizione" da uno stato all'altro.

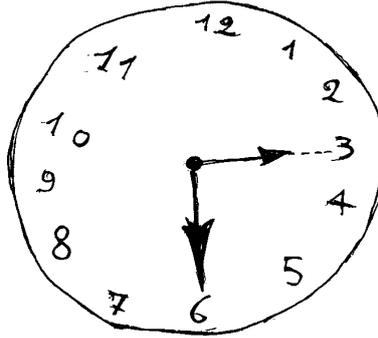
Il nostro principio epistemologico permette di ricondurre ad una "logica di sviluppo" la successione delle teorie scientifiche che, nella nostra lettura storica, non seguono affatto un percorso rimbalzante da una rivoluzione all'altra, secondo lo schema di Kuhn.

Lo studioso americano (estrapolando ardite conclusioni dal mero contesto epistemologico) scrisse al proposito: "*Nulla di ciò che abbiamo detto, o diremo, ne fa un processo di evoluzione verso qualcosa*" "*Non riesco a vedere, nella loro successione [delle teorie scientifiche] nessuna direzione coerente di sviluppo ontologico*" (Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, IV edizione, Milano, 1978, p. 205, p. 247).

12. Episodio biografico del docente che gli ha suggerito la logica epistemologica alla base del Corso.

### **L'orologio di Giovanni.**

Mio figlio Giovanni, all'età di 6 anni, aveva appena iniziato a leggere le ore. Un giorno gli chiesi l'ora e mi rispose che erano le 3 e mezza. Poiché si mise a ricopiare l'orologio, lo invitai a tracciare anche le lancette ed egli fece un disegno nel quale la lancetta delle ore puntava esattamente contro la cifra 3.



“Giovanni, guarda bene la lancetta corta delle ore. Vedi non è sul 3. E’ a metà strada tra il 3 e il 4. Infatti non sono più le 3 e non sono ancora le 4.”

Ricordo perfettamente lo stupore negli occhi del mio bambino. *“E’ vero, papà. Anche io con gli occhi vedevo che la lancetta corta non era proprio sul 3, ma io nella mia mente la raddrizzavo, altrimenti non riuscivo a leggere l’ora.”*[Sottolineo che mio figlio mi rispose letteralmente così].

13. Solo ad un certo stadio dell’infanzia è possibile cogliere il momento della correzione che noi operiamo costantemente sulla visione sensibile per ottenere la visione concettuale.

Solamente ciò che siamo riusciti a concettualizzare entra nella nostra esperienza intellettuale e può essere compreso e comunicato (ad esempio alcune macchie di colore possono essere certamente percepite ma, se siamo privi degli strumenti per processarle, non riusciamo a restituirne un significato).

Giovanni non vedeva significato nel fatto che la lancetta delle ore poteva trovarsi “a metà strada” tra un ora e l’altra.

Allo stesso modo, nella lettura di un orologio digitale (nei vecchi modelli il fenomeno era molto più accentuato) noi non diamo significato al lampeggio che accompagna la formazione delle cifre (che anzi è considerato elemento di disturbo).

Così un bambino piccolo non dà significato allo scorrere della lancetta delle ore che anzi egli preferirebbe avanzasse con un solo scatto da un numero all’altro.

Quando comprese il significato del movimento della lancetta delle ore, Giovanni concluse: “Da quando ho scoperto che la lancetta delle ore si muove anche lei [vale a dire si muove in modo continuo, non avanzando a scatto come la lancetta dei secondi di molti orologi] per leggere l’ora non ho più bisogno di raddrizzarla nella mia mente.”

*Quello che era elemento di disturbo diviene la chiave interpretatrice ad una tappa successiva.* Ricordo che qualche tempo dopo domandò: “Perché devo anche guardare la lancetta lunga?” (In effetti, se ci accontentiamo dell’approssimazione della mezzora (o forse anche del quarto d’ora) la lancetta dei minuti è inutile.

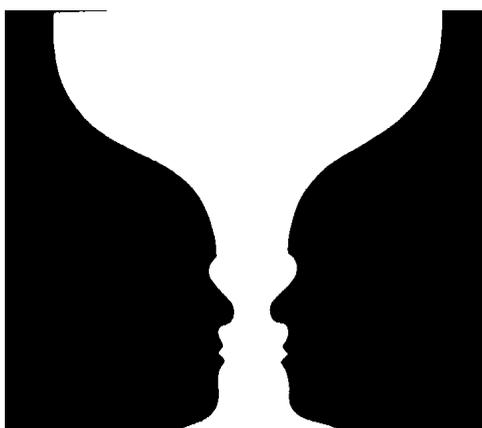
#### 14. Scambio gestaltico nella percezione dell’immagine

La parola tedesca *Gestalt* (forma o rappresentazione) fu usata sia da Mach sia da Husserl nelle loro riflessioni su come i dati percepiti prendano struttura e significato. A esempio, riconsiderando l’immagine papera-coniglio, la percezione si polarizza (“precipita”) in uno dei due stadi discreti: o vediamo la papera o vediamo il coniglio.

La riflessione filosofica non ha posto ancora sufficiente attenzione al fatto che si può diventare consapevoli di poter vedere sia la papera sia il coniglio.

Queste analogie visuali – anche se molto utilizzate - non sono pertinenti alla comprensione dello sviluppo delle teorie scientifiche.

Faremo un istruttivo esercizio concettuale con un altro tipo di figura: la coppia vaso-volti, in cui si sfrutta l’inversione tra la figura e lo sfondo: la stessa immagine può volere significare due volti simmetrici accostati, ovvero il profilo di un vaso.



Per quanto detto al punto precedente, anche questa diversa analogia visuale non coglie il fatto seguente: la nuova organizzazione del pensiero, dovuta ad un progresso teorico, *non* è paragonabile alla nuova attenzione ad un elemento che prima costituiva l'*intero sfondo* sulla quale risaltava l'immagine da noi percepita. In altre parole, non vi è "scambio" tra elementi di pari valore.

Si tratta invece di riconsiderare come significativo un elemento la cui stessa percezione, nella tappa precedente, avevamo dovuto "sacrificare" nello sforzo di trovare il modello.

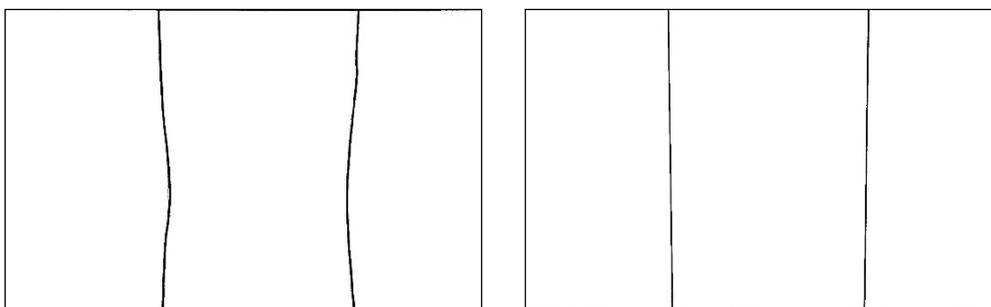
Di questo "sacrificio" non si è, generalmente, consapevoli: Newton, per fare un esempio illustre, non era consapevole che l'ipotesi di spazio e di tempo assoluti erano un'assunzione *semplificatrice* necessaria allo sviluppo della sua meccanica.

Sarà Einstein che diventerà consapevole di questo "sacrificio" e ne farà la chiave interpretativa di una nuova meccanica.

### 15. Analogie visuali più pertinenti

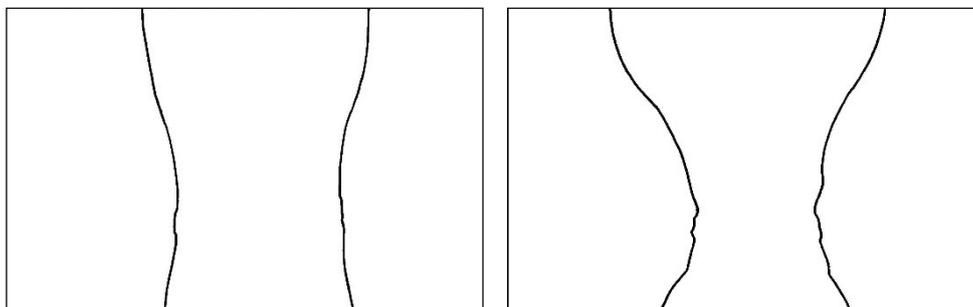
Consideriamo la seguente coppia di figure e supponiamo che il fenomeno da noi studiato, nelle particolari condizioni in cui è stato sperimentato, dia luogo alla rappresentazione geometrica della figura di sinistra.

Il nostro primo tentativo teorico non lo *modellerebbe* come la coppia di segmenti rettilinei che appare nella figura di destra?



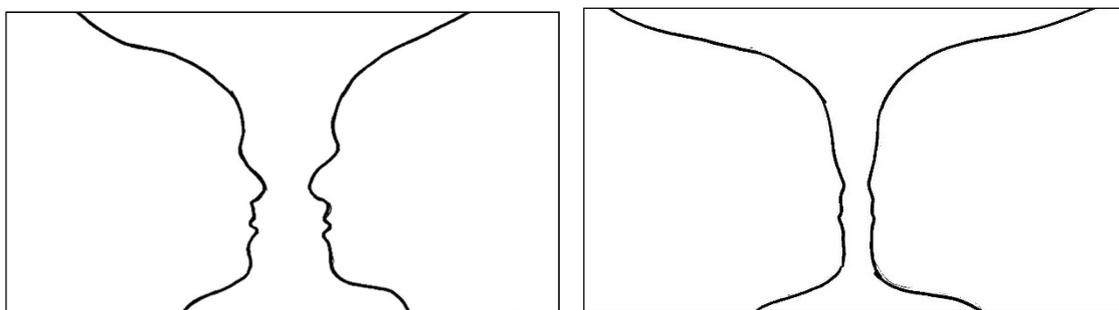
Nell'eseguire questa ricostruzione della realtà, seguiremmo lo stadio teorico cui è giunta la nostra riflessione che non sa attribuire alcun significato alle oscillazioni delle due linee che sono solo approssimativamente diritte e verticali (così come Giovanni era costretto a raddrizzare le lancette per poter cogliere numeri interi).

Supponiamo ora che lo sviluppo degli strumenti analitici e sperimentali ci permetta di cogliere la legge che comanda l'oscillazione delle due linee (così come Giovanni – divenuto consapevole dei numeri frazionari - è finalmente in grado di leggere la posizione della lancetta in posizione intermedia).



Siamo allora in grado di seguire il fenomeno indagato anche in altre circostanze, per le quali la schematizzazione delle linee in segmenti sarebbe stata inimmaginabile (e che quindi avremmo studiato quali casi separati).

La cosa essenziale è che grazie alla comprensione della legge possiamo sia ritrovare il modello semplificato iniziale (i due segmenti rettilinei) sia altre situazioni: i volti (che in uno stato intermedio sono intercambiabili con il profilo del vaso) o il vaso (fino al caso estremo dell'immagine di destra della figura seguente, nella quale risulta difficile l'inversione di visuale che coglie la coppia di volti). Fenomeni prima indagati come casi separati possono essere finalmente letti alla luce di un unico principio.



Attribuire significato alle oscillazioni delle linee (ovvero concettualizzare l'elemento trascurato) coincide con l'evoluzione ad una tappa successiva di riorganizzazione della conoscenza.

Questa riorganizzazione fa spesso uso di una generalizzazione del simbolo utilizzato, cioè dell'ente formale, strumento linguistico interpretativo del fenomeno.

Sintesi della nostra logica epistemologica: la scienza avanza per tappe discrete (come voleva Kuhn) di riorganizzazione della conoscenza, ciascuna delle quali è contraddistinta dalla concettualizzazione di un elemento sacrificato nella tappa precedente, concettualizzazione coincidente con l'espressione più generale ed astratta dei concetti già acquisiti ai passi precedenti.

Lo sviluppo di una teoria non è pertanto l'accumulo di conoscenze ma piuttosto l'organizzazione di quelle acquisite: pensare non è aumentare il numero dei pensieri ma il loro ordine (Leibniz).

E' questa conquistata continuità concettuale che permette di cogliere i singoli casi, compresi quelli estremi apparentemente irriducibili, "sotto il raggio di un'unica visione" (vedi punto 10 della parte 3; l'espressione è di Riccardo di San Vittore cui Dante attribui una profondità di pensiero mai raggiunta da alcuna persona umana: "a considerat fu più che viro").

## 16. Generalizzazione del concetto di forza

Nel modello geometrico di Archimede le forze erano esclusivamente costituite da *azioni esterne* (carichi gravitazionali).

Galileo introduce il concetto di *azione interna resistente*, ricavabile in base all'equilibrio con le forze precedenti.

Eulero (concludendo la riflessione di Jacques Bernoulli) introduce il concetto di *azione interna agente*, responsabile della deformazione delle strutture.

Navier, individuando la funzione statica dei vincoli, introduce il concetto di *azione esterna geometrica*, vale a dire con intensità dovuta al rispetto di condizioni geometriche.

Infine, l'analisi non lineare di Castigliano, può essere inquadrata come l'introduzione di una nuova generalizzazione del concetto di forza: *azione interna geometrica*, in quanto dovuta al rispetto di condizioni geometriche interne alla trave (coazioni dovute ad opportune distorsioni che liberano il solido considerato elastico dalle tensioni di trazione che non può sopportare; vedi studi del Prof. Salvatore Di Pasquale).

## 17. Concettualizzazione degli **elementi sacrificati** nelle tappe della teoria della trave e **analogie risolutive** (punto 14 parte 1)

Il modello di **Castigliano** (soluzione di strutture non lineari) ha esplicitato (cioè concettualizzato) l'assunzione precedentemente implicita per cui era scontata l'identità tra sezione reagente e sezione geometrica (definita da Castigliano sezione "apparente").

La fessurazione appariva come un *fenomeno di disturbo* nella teoria precedente che assumeva come dato di fatto la coincidenza tra struttura e costruzione, senza possedere la consapevolezza di questa ipotesi semplificatrice.

Lo strumento analitico che ha reso possibile una lettura più profonda del fenomeno meccanico è il suo teorema energetico e il conseguente procedimento numerico che riesce a cogliere con sufficiente precisione, in ogni passo del calcolo iterativo, la porzione che risulta soggetta a trazione.

Ne discende l'analogia risolutiva: la struttura elastica iperstatica, è la parte reagente della costruzione materiale (l'arco elastico nascosto nell'arco di pietra).

Il modello di **Navier** (soluzione di strutture iperstatiche) ha reso esplicita l'assunzione precedentemente implicita per cui l'azione interna – responsabile delle deformazioni e quindi degli spostamenti – era generata dalle sole forze esterne.

I vincoli supplementari (come l'appoggio all'estremo di una mensola) apparivano come un fenomeno di disturbo, in quanto rendevano indeterminata la distribuzione dell'azione interna (momento flettente).

Lo strumento analitico che ha reso possibile questa tappa riorganizzativa di lettura del fenomeno meccanico è stata la tecnica analitica definita di linearizzazione dell'equazione differenziale, in quanto ne ha permesso l'esplicita risoluzione in termini polinomiali.

L'analogia risolutiva è la seguente: la struttura iperstatica è una struttura isostatica caricata dalle forze esterne originarie e da altre forze esterne, tali da rispettare i vincoli geometrici supplementari.

Il modello di **Eulero** (soluzione di strutture elastiche) ha reso esplicita l'assunzione per cui – in una struttura isostatica - la deformata di una trave non era essenziale per ricavare le azioni interne.

Per Galileo, infatti, la curvatura della linea d'asse delle travi (che, significativamente, nel suo trattato appaiono esemplificate "indifferentemente" come travi lignee o di pietra) appariva come un fenomeno di disturbo, in quanto alterante la geometria ideale della leva angolare resistente individuata all'incastro con la parete. Nella nuova formulazione elastica, al contrario, è proprio la curvatura ad essere assunta proporzionale all'azione interna stessa.

La nuova analisi infinitesimale permette di risalire dall'equazione differenziale che lega azione interna e curvatura, alla funzione esprime lo spostamento della linea d'asse.

L'analogia risolutiva è allora la seguente: in ogni sezione della struttura (sulla base della leva angolare che Galileo aveva posizionato nella sola sezione d'incastro) l'azione di richiamo elastico equilibra l'azione interna.

Il modello di **Galileo** (soluzione di strutture rigide) ha esplicitato il limite fisico di validità del modello puramente geometrico precedente: la statica non ha tutte le sue ragioni nella geometria.

La possibilità di rottura nella leva ideale di Archimede era necessariamente percepita come un fenomeno di disturbo in quanto nessuno, prima di Galileo, aveva pensato di individuare nella trave una leva angolare ove uno dei bracci era interno alla trave stessa.

Nessuno infatti, prima di lui, aveva capito la portata della ricostruzione medioevale della teoria delle macchine semplici, che aveva permesso la comprensione della leva angolare.

L'analogia risolutiva è la seguente: una mensola è come una leva angolare impernata all'intradosso dell'incastro.

Il modello di **Archimede** (soluzione di travi geometriche) applica la legge della bilancia (*equa-libra*) per calcolare il carico che un'architrave distribuisce sui due pilastri.

I pesi sui due pilastri sono quelli che darebbero l'equilibrio ad una bilancia che ha il fulcro in corrispondenza del carico applicato.

La prima analogia, fondatrice della meccanica delle strutture, è la seguente: una trave su due pilastri è come una bilancia in equilibrio (non si muovono entrambe). In questa analogia, la più semplice e geniale delle analogie meccaniche pensabili (che precorre tutte le altre) noi intravediamo l'atto assolutamente primigenio che ha originato la nostra disciplina.

Nella progressiva costruzione delle teorie scientifiche vi è analogia con la costruzione dell'edificio matematico (punto 6 della parte 1): l'ente conserva le proprietà acquisite anche se viene a far parte di un insieme più vasto.

Infatti possiamo rilevare che ogni tappa, nello sviluppo della teoria della trave, comprende come casi particolari tutti i casi precedenti:

- tappa 5: struttura presso inflessa iperstatica reagente o non reagente a trazione (Castigliano);
- tappa 4: struttura inflessa ipertatica (Navier)
- tappa 3: struttura inflessa isostatica (Eulero)
- tappa 2: struttura inflessa isostatica, con rigidità infinita (Galileo)
- tappa 1: struttura rigida con resistenza infinita (Archimede).

Invito agli allievi ingegneri di rivedere questa introduzione fino all'intima persuasione di averne assimilato il significato profondo, che donerà loro una solida base di certezze per la migliore comprensione di quanto hanno già studiato e studieranno in futuro.

## **PARTE FACOLTATIVA (sul metodo di scoperta).**

Distinzione tra "idea" e "concetto". Il concetto, indispensabile per poter comprendere ed operare, "cristallizza" un particolare aspetto dell'idea ed esercita su di noi un potere "ipnotico" che costringe il pensiero ad una via già tracciata. Per scoprire un nuovo aspetto di verità dobbiamo risalire dal piano dei concetti a quello delle idee, e poi ridiscendere con un nuovo concetto che per essere compreso necessita, a volte, di un progresso del linguaggio, ovvero di un'estensione del significato del simbolo utilizzato.

I concetti – che si identificano in molti casi con le definizioni - sono come dei vestiti che le idee devono prendere per poter apparire all'occhio dell'intelletto, ma le idee sono forze pre-dialettiche e pertanto trascendono tutte le definizioni. Del cerchio possiamo dare molte definizioni *equivalenti*, ma l'idea del cerchio le trascende tutte.

Ad esempio il cerchio è quella figura geometrica piana con curvatura costante non nulla: questa definizione è relativamente recente in quanto era necessario prima definire in generale la "curvatura" (ovvero attendere la cosiddetta "geometria differenziale") prima di poter parlare di curvatura costante.

Poiché vi sono più definizioni (ovvero più concetti) del cerchio, vi è necessariamente un'idea del cerchio che le "trascende" tutte, comprese quelle non ancora scoperte.

NOTA: *Non possiamo dire che il cerchio è l'insieme dei suoi concetti.* La definizione non reggerebbe in quanto gli elementi di esso non sarebbero definiti né per enumerazione diretta né per costruzione logica: probabilmente, vi sono altre definizioni del cerchio che noi ancora non conosciamo (come in passato nessuno avrebbe potuto dire che il cerchio ha curvatura costante).

Il processo stesso di definizione nasconde un altro tipo di "trascendenza", colto, storicamente, per la prima volta dal filosofo Cusano.

Dalla matematica abbiamo appreso come definire un ente che "trascende" la natura degli elementi che abbiamo usato per la sua definizione; ad esempio per definire gli irrazionali noi usiamo delle "sezioni" (le cosiddette sezioni di Dedekind) nell'insieme dei numeri razionali, ma i numeri che risultano così definiti non hanno nulla a che fare con i numeri che usiamo per definirli, così come l'idea evocata da una statua di marmo non ha nulla a che vedere con le particelle di marmo della statua (l'ultima immagine è di Florenskij). La successione dei poligoni si avvicina sempre più alla circonferenza, *senza mai raggiungerla* (Cusano). Ogni poligono che si avvicina al cerchio ha certe caratteristiche: è fatto di lati rettilinei per cui, isolandone una parte e descrivendola analiticamente, troviamo che ha derivata seconda (e quindi curvatura) ovunque nulla. Il cerchio invece ha curvatura con un valore definito ovunque e costante: il cerchio, rispetto alla successione dei poligoni, è quindi una figura completamente nuova che trascende la natura degli enti che abbiamo usato per definirlo.

Il fondamento dell'arte dell'*ars inveniendi* (ovvero del processo di scoperta) è salire e discendere tra il piano dei concetti e quello delle idee. Esercizio principe, nel processo di scoperta intellettuale, è pertanto quello di "spogliare" un concetto delle proprie apparenze sensibili, esprimendolo nel modo più astratto possibile, persistendo quindi con fede in questo stato "fluidico" sino a quando la forza dell'idea, così evocata, non la "rivesta" del nuovo concetto risolutore. Per esperienza, è d'avviso che l'esercizio segue la corretta direzione, la consapevolezza di aver colto "simmetrie" non ancora utilizzate.

Ad esempio, eseguendo questo "esercizio principe", è stato scoperto il teorema della *Minima Compressione Equilibrata*: nella Sua presentazione il prof. Ezio Cadoni scrive che è stata colta *"la vera "chiave" dell'idea introdotta da Heyman nel 1969 per la ricerca del moltiplicatore di collasso di un arco, trasponendolo nello spazio delle tensioni, invece che in quello originale delle azioni flettenti"*.

Conformemente al metodo enunciato, si è trattato, in questo caso, di "spogliare" l'idea primigenia introdotta da Heyman e di "rivestirla" con un abito differente: la scoperta del teorema ha ripagato il lungo, ostinato, sforzo di *esprimere l'essenza di un risultato teorico astraendo il più possibile dal riferimento diretto agli enti in cui esso ha trovato applicazione.*

Riepilogando: ogni concetto cristallizza un particolare aspetto dell'idea e costringe a seguire un solco già pensato: il cuore dell'*ars inveniendi*, è "sciogliere" i concetti e mettere lo spirito in una disposizione d'animo adatto per percepire le idee in "se stesse" (come dice Platone).

Nella fase cruciale e conclusiva dell'esercizio dell'*ars inveniendi* si ha la reale gioiosa esperienza di "vedere" finalmente l'idea.

Nelle fasi precedenti della ricerca vi è, al contrario, un periodo doloroso (a volte molto lungo) che possiamo chiamare di "notte dello spirito" in cui non si sa cogliere alcuna luce, perché i vecchi concetti sono ormai stati disciolti e i nuovi non si sono ancora formati: questa specie di identificazione tra i moti del pensiero e quelli della luce dovrebbe essere oggetto di attenta riflessione in quanto esperienza condivisa tra i mistici e i ricercatori scientifici.

Poi, in un unico istante di grazia, in cui il tempo misteriosamente si dilata, la forza intrinseca nell'idea si coagula in un nuovo concetto che, come tale, può essere registrato dall'intelletto e comunicato. Il concetto è come la *moneta contante* che dovrebbe poter essere facilmente convertita in nuovi valori! Come il denaro, inoltre, il concetto è un ottimo servitore ma un pessimo padrone. Infatti ogni concetto ha un potere ipnotico perché, come già detto, costringe il pensiero a seguire una via già tracciata.

NOTA: Altre utili riflessioni sull'essenziale distinzione tra piani *noetico* e *dianoetico* – ed il conseguente permanente valore delle riflessioni metafisiche nel processo di scoperta scientifica - sono contenute nella parte finale della mia conferenza al Collegio Cairoli: LA DIALETTICA FINITO-INFINITO E LA NASCITA DEL PENSIERO SCIENTIFICO MODERNO (2018), nella Home del mio sito.