

## **IL COMPORTAMENTO STRUTTURALE**

Modalità con la quale un manufatto sopporta il proprio peso, le azioni accidentali cui è sottoposto abitualmente (carichi connessi alla fruizione dell'opera, effetti termici, vento, ecc.) e le azioni connesse a rischi ambientali (terremoti). Il buon comportamento strutturale presuppone che il manufatto non subisca strappi (lesioni nei materiali, sconnessioni tra gli elementi) o eccessive deformazioni, ovvero siano garantite l'incolumità delle persone, la funzionalità dell'opera e l'integrità della stessa.

Dal punto di vista meccanico qualsiasi azione può essere ricondotta ad un sistema di forze, di natura statica o dinamica, che agiscono sul manufatto, devono trovare equilibrio attraverso gli elementi architettonici e, nella maggior parte dei casi, devono essere ricondotte a terra (vincolo esterno).

L'analisi strutturale consiste nel valutare il ruolo ed il comportamento dei diversi elementi della costruzione nei riguardi delle suddette azioni; questa valutazione può essere basata su deduzioni teoriche e calcoli o su intuizione ed evidenza sperimentale.

È quindi lecito domandarsi se le realizzazioni del passato siano state maggiormente influenzate dalle teorie strutturali o dalla pratica costruttiva. In altre parole:

## **IL COSTRUIRE È SCIENZA O ARTE (TECNICA)?**

## Il costruire è scienza o arte (tecnica)?

**SCIENZA:** è l'insieme ragionato e compiuto di cognizioni che consente di descrivere un determinato fenomeno tramite un modello matematico, ovvero una teoria, a partire da alcuni assiomi (*scienza delle costruzioni*).

**ARTE** (dal latino **ars-artis**: abilità, maniera di agire)

**TECNICA** (dal greco **τεχνη**: destrezza, abilità, insieme di regole)  
È il complesso di regole scritte o riconoscibili nella prassi con le quali si realizza un certo manufatto; nel caso delle costruzioni tali regole erano chiamate *regole dell'arte* ed oggi sono sviluppate nella disciplina della *tecnica delle costruzioni*.

Le **opere moderne** (a partire dalla seconda metà dell'ottocento con le costruzioni metalliche e quelle in cemento armato in questo secolo) sono meccanicamente controllate, ovvero il dimensionamento degli elementi è il frutto di un calcolo teorico:

- il progettista concepisce uno schema statico, che traduce in un modello strutturale;
- attraverso il calcolo effettua il dimensionamento delle sezioni, avendo scelto il materiale e assunta la sua resistenza (metodi alle tensioni ammissibili o agli stati limite);
- il progetto viene definito nei suoi dettagli (progettazione esecutiva), avvalendosi di regole del buon costruire.

Le **costruzioni storiche**, definizione con la quale intendiamo in genere le costruzioni in muratura, sono il frutto di un proporzionamento geometrico basato sull'applicazione di regole dell'arte consolidate dall'esperienza. Il ricorso alla *scienza delle costruzioni* può essere di grande aiuto nell'interpretazione a posteriori del comportamento strutturale, cioè nella diagnosi.

## Metodi per l'analisi del comportamento strutturale

**Schema statico** (o **modello meccanico**): è la traduzione in forma teorica di come il progettista interpreta il ruolo strutturale dei diversi elementi, in relazione alle diverse azioni. In tal senso la scelta non è univoca.

- L'analisi può essere rivolta all'intera struttura (**modello globale**) o ad una sua parte (**modello locale**).
- Il modello di una struttura è in genere differente al variare dell'azioni nei confronti della quale si esegue la verifica, in quanto si considerano solo gli aspetti essenziali per quel caso.

I metodi di analisi sono differenti per complessità e dettaglio:

**Analisi qualitativa:** consiste nell'intuizione del comportamento strutturale e nel confronto con l'evidenza sperimentale su costruzioni analoghe. Si presta in genere per l'analisi con modelli locali. È coerente con l'approccio seguito dal costruttore, che ovviamente aveva una consapevolezza strutturale, e quindi è di grande aiuto nella definizione di interventi di consolidamento.

**Statica dei corpi rigidi:** fornisce soluzione unica solo nel caso di strutture isostatiche (o comunque staticamente determinate). Può essere utilizzata in forma algebrica (equazioni di equilibrio) o grafica (statica grafica). Per strutture più complesse fornisce indicazioni utili:

- Soluzioni staticamente equilibrate (archi e volte)
- Analisi limite a collasso (ipotizzando un cinematismo)

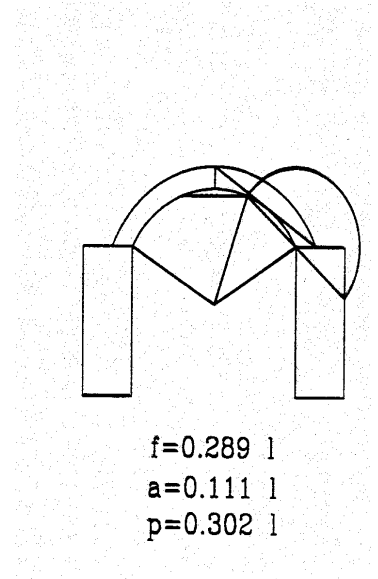
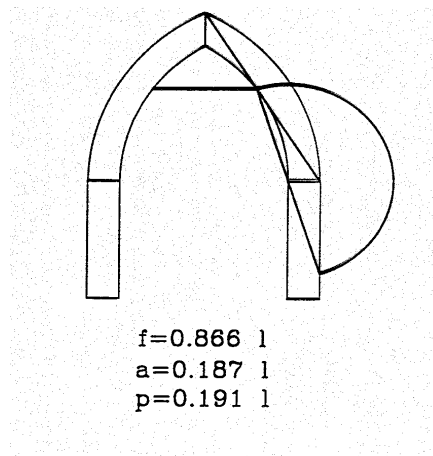
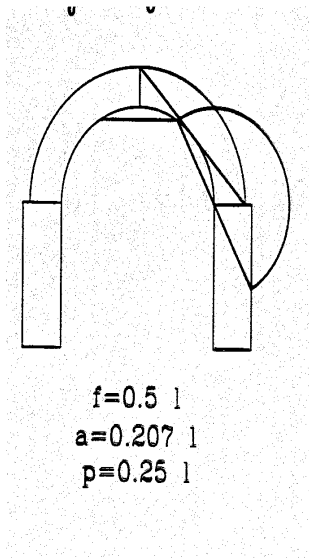
**Teoria dell'elasticità:** mettendo in conto la deformabilità dei materiali è possibile risolvere le strutture molteplicemente vincolate (strutture iperstatiche). La soluzione può essere ottenuta esplicitamente solo nel caso di strutture costituite da elementi monodimensionali (teoria della trave) o bidimensionali (lastra inflessa o caricata nel piano, gusci e membrane) ma solo per geometrie semplici. Negli altri casi è inevitabile il ricorso a metodi di analisi numerica, ovvero con l'aiuto del calcolatore (**metodo agli elementi finiti**).

**Analisi non lineari:** considerano la risposta post-elastica dei materiali

**Analisi dinamica**

# L'ARCO

## Regole geometriche di dimensionamento

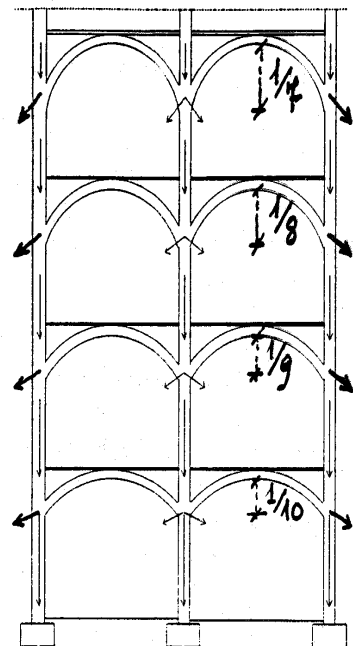


## Forma ottimale delle volte negli edifici civili (Curioni, Torino, XI X sec.)

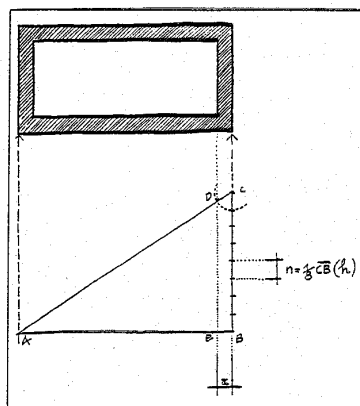
### Spessore in chiave delle volte (L.B.Alberti, XV sec.)

$$S = (1/15) L$$

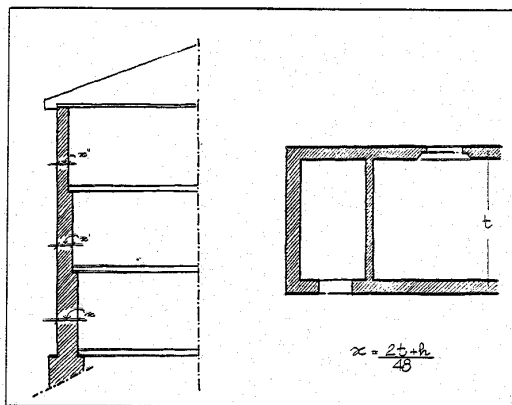
$S$  = spessore  $L$  = luce



# Regole geometriche di dimensionamento



a - Dimensionamento di un muro con configurazione chiusa.



b - Dimensionamento dei muri di fronte in un edificio a una sola campata, privo di muri di spina intermedi (elaborazione da G.A. Breymann).

Uno degli esempi più semplici di calcolo empirico proposti da J. Rondelet nel suo celebre *Traité de l'art de bâtir* (1802-7) riguarda il dimensionamento di muri non gravati da pesi che formano figure chiuse, che può ottenersi, con metodo grafico o analitico, mediante l'applicazione del teorema di Talete.

Col primo metodo (ill. a), se AB (L) è il segmento rappresentante la lunghezza del muro che si intende calcolare, dal vertice B si traccia perpendicolarmente a questo l'altezza BC (h) dello stesso. Si congiunge A con C. L'altezza BC viene suddivisa 8, 10 o 12 volte a seconda del grado di stabilità (n) richiesto. Questo valore si riporta sull'ipotenusa mediante un arco di cerchio con centro C. Dall'intersezione

ottenuta (D) si traccia la parallela DE a BC. La distanza tra questi due segmenti è il valore cercato che - importante sottolinearlo - è funzione delle altre due variabili geometriche (altezza, lunghezza) e, attraverso "n", anche se in forma non rigorosa, della variabile tecnologica.

In forma analitica, invece, posto x = spessore, si avrebbe:

$$L : x = AC : DC$$

$$\text{Essendo: } AC = \sqrt{L^2 + h^2}$$

$$e \quad DC = 1/n \cdot h$$

il rapporto primitivo diventa:

$$L : x = \sqrt{L^2 + h^2} : 1/n \cdot h$$

$$\text{Quindi: } x = \frac{L \cdot h}{n \cdot \sqrt{L^2 + h^2}}$$

L'ill. b riporta invece un metodo per il dimensionamento dei muri di testata per edifici a una sola campata.

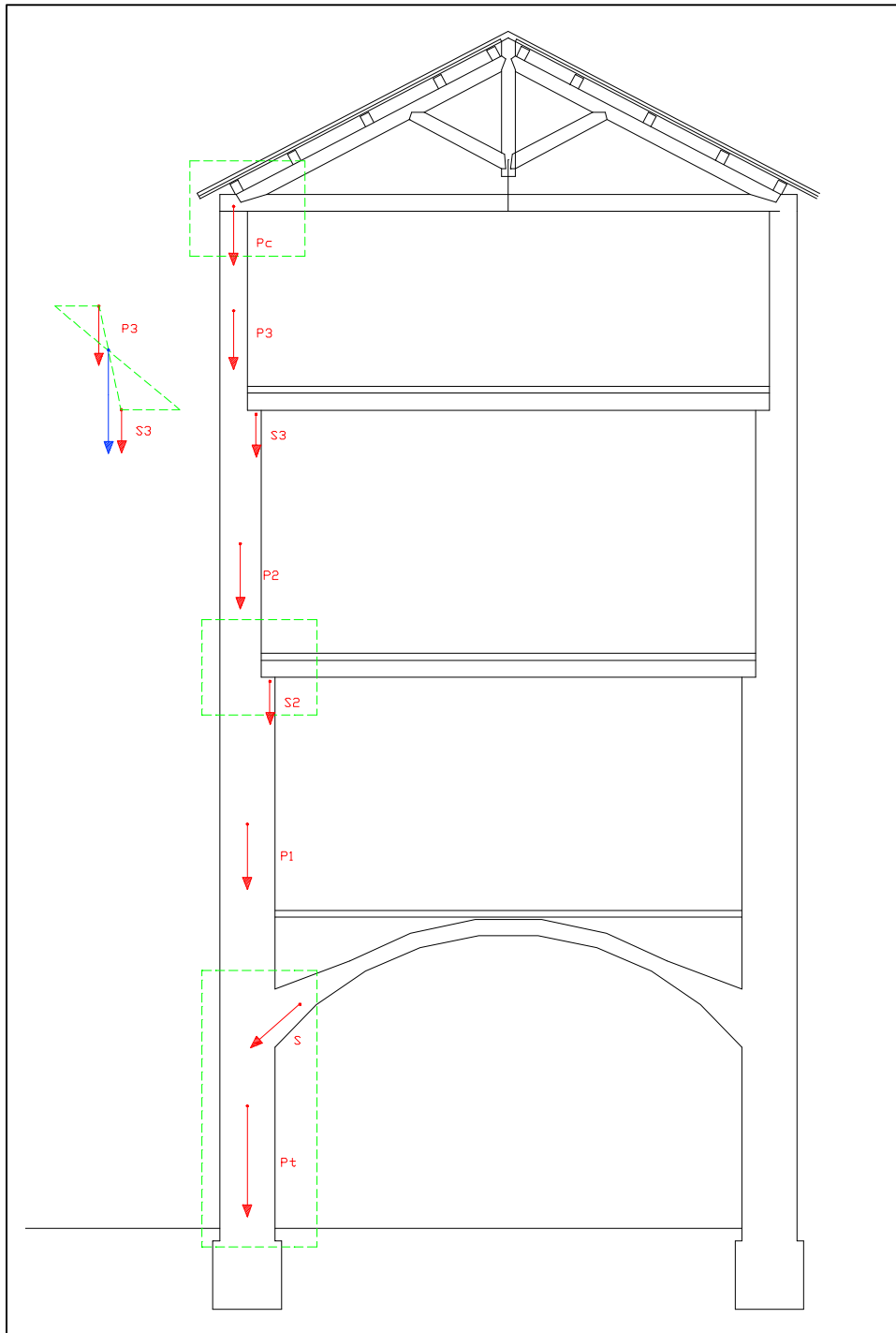
TABELLA A.

PIANO	CASE D'ABITAZIONI					FABBRICHE				Abitazioni	Fabbriche
	Muri di prospetto con aperture	Muri interni con aperture	Muri esterni trasversali senza aperture	Muri divisorii con aperture	Muri esterni trasversali senza aperture	Muri di prospetto con aperture	Muri interni con aperture	Muri esterni trasversali senza aperture	Muri divisorii con aperture	Muri delle scale	
	e	e	e	e	e	e	e	e	e		
Carico della travatura						Carico della travatura					
Sottotetti	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
IV° P. sup.	38	38	25	38	25	38	38	25	38	25	25
III° P. sup.	38	38	25	38	25	38	38	25	38	25	25
II° P. sup.	51	38	25	38	38	51	38	38	51	25	25
I° P. super.	51	38	38	51	38	51	38	38	51	25	38
Pianterreno	64	51	38	51	51	77	51	51	64	38	38
Sotterraneo	77	51	51	64	51	80	64	51	77	38	51

## b) Verifica semplificata: metodo grafico

### I ipotesi semplificative

- non si considera l'effetto parete
- si trascura l'effetto controventante dei muri trasversali
- si assume una distribuzione triangolare delle tensioni indotte dalle travi dei solai
- distribuzione dei carichi concentrati provenienti dalla copertura

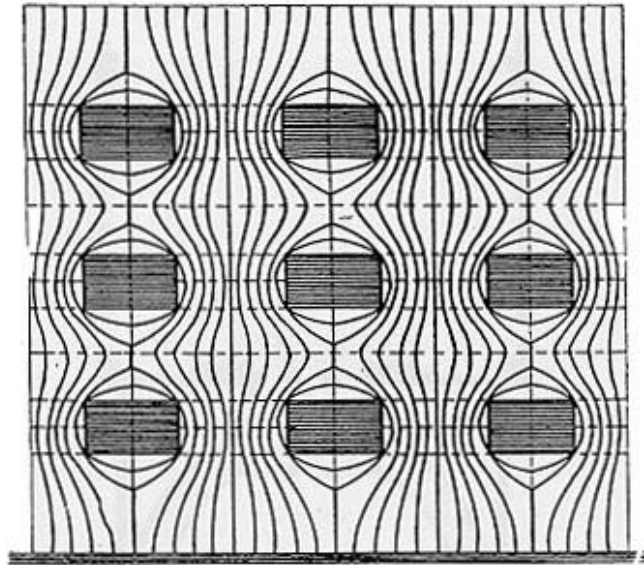


### Procedimento

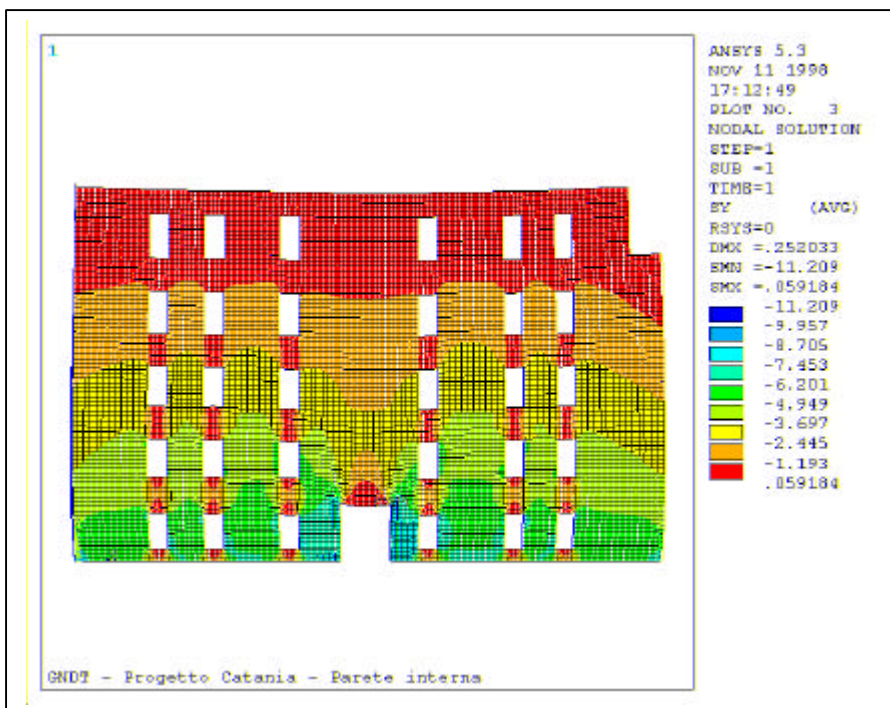
- si individua la parete o le porzioni di parete di cui si vuole calcolare lo stato di tensione
- analisi dei carichi (peso proprio delle murature, carico della copertura, peso dei solai, spinta delle volte, peso delle scale, ecc.).
- rappresentazione e vettoriale dei carichi
- composizione vettoriale dei carichi
- verifica delle tensioni nella sezione desiderata

## Analisi statica di una parete

Distribuzione delle tensioni all'interno di una muratura



### a) Verifica delle tensioni con il metodo degli elementi finiti



1. Schematizzazione del modello
2. Assegnazione delle caratteristiche del materiale
3. Imposizione dei vincoli
4. Assegnazione dei carichi

⇒ soluzione

Il grado di incertezza deriva dalle ipotesi fatte sulle caratteristiche meccaniche della muratura, sulle condizioni di vincolo.