



# **Il velarium del Colosseo: una nuova interpretazione**

Eugenio D'Anna e Pier Gabriele Molari

già docenti nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna

## **INDICE**

*Riassunto*

*Premessa (sintesi di notizie storiche)*

*Ciò che rimane del velarium e delle sue attrezzature nelle rovine dei vari anfiteatri*

*Fonti e documenti*

*Una rassegna sintetica di alcune fra le tante soluzioni proposte*

*Ipotesi e modelli sulla realizzazione pratica della copertura*

*Geometria di base*

*Una verifica statica sul primo modello*

*Il modello ottimizzato*

*Soluzione costruttiva*

*Dettagli costruttivi*

*Conclusioni*

*Bibliografia*

*Appendice: alcune fonti scritte*

(in alto il Colosseo nella moneta italiana da 5 centesimi)

## Riassunto

Il velarium del Colosseo era un'opera di ingegneria che destava meraviglia per la difficoltà che presentava la copertura di una superficie con base ellittica così vasta avente diametri pari a 188 e 156 metri con un'arena centrale di 86 e 54 metri. Questa opera era sicuramente frutto di alto ingegno, all'altezza di pensiero del costruttore dell'edificio che copriva. La meraviglia dei Romani è documentata da vari scrittori e su monete celebrative. Anche recentemente una moneta riporta l'immagine dell'anfiteatro Flavio che rimane tuttora il più grande teatro al mondo ed il monumento più visitato.

La tecnologia costruttiva del velarium va sicuramente riferita a quella del settore navale dato che il dispiegamento di questa grandissima copertura, di ben 23.000 m<sup>2</sup>, era assicurata da cento marinai della flotta di stanza a Capo Miseno che erano anche alloggiati in una caserma proprio nei pressi del Colosseo, come scritto da Plinio.

Numerosi sono gli studiosi che si sono interrogati su come potesse essere stata concepita e realizzata, con le conoscenze tecnologiche di allora, questa grande tendo-struttura. Esiste quindi un'ampia bibliografia su questo argomento. Graefe nel suo libro *Vela erunt*, elenca in ordine cronologico le varie ricostruzioni proposte e fa riferimento a ben 257 testi. Nascono tuttavia vari dubbi sulle soluzioni fino ad ora pensate e quindi, dopo aver riesaminato le fonti e passato in rassegna gli studi, si pongono precise domande alle quali si cerca di dare risposte argomentando la copertura totale dell'opera e proponendo una nuova soluzione.

Piace qui ricordare e fare proprie le parole scritte nel 1931 da Giovenale nella sua comunicazione *Erunt vela: Sul velarium degli anfiteatri, dei teatri e di altri luoghi di pubbliche riunioni poche notizie, non sempre chiare, ci hanno lasciato gli antichi scrittori, specialmente per quanto riguarda il suo meccanico funzionamento; e ciò che i moderni hanno aggiunto a me non sembra esauriente.*

Una relazione tecnica, prima di massima e poi di dettaglio, assicura la stabilità statica di questa nuova soluzione qui proposta e permette di meglio comprendere quanto studio e, forse, quanti tentativi siano stati fatti per arrivare ad una realizzazione così essenziale nella sua semplicità costruttiva. Nel corso dello studio, che si è prolungato nel tempo, sono stati costruiti alcuni modelli in piccola scala che hanno permesso di capire: prima, che questa copertura non poteva essere usata come riparo dalla pioggia per la scarsa pendenza, e poi, come raggiungere la soluzione proposta.

## Premessa

La costruzione del Colosseo venne iniziata dopo la morte dell'imperatore Nerone avvenuta nel 69; l'inaugurazione avvenne nell' 80. Consisteva allora di tre ordini di palchi ed è verosimile sia stata costruita dalla famiglia degli Haterii che ne hanno lasciato una immagine scolpita sulla tomba di famiglia, Fig.1 al centro. Non è certo che in questa fase avesse una protezione per il sole, di fatto nel bassorilievo appaiono strutture di difficile interpretazione. Esiste tuttavia un rilievo coevo (Ciotti), Fig.1 a destra, che ha molti elementi che fanno pensare all'anfiteatro Flavio: teatro, edicole, quadriga. Questo rilievo, trovato casualmente a S.Elia di Nepi nel 1948, mostra un velarium raccolto alla sommità che non può essere un sipario dato che è alloggiato in vani distinti fra loro. Successivamente questa enorme fabbrica venne ampliata per contenere un numero maggiore di spettatori: ne vengono contati fino a 87000<sup>1</sup>. L'aggiunta del cosiddetto portico coperto da un terrazzo e non dotato di sedili, va pensato oltre a migliorare l'acustica (l'Alberti dice sia necessario per gli anfiteatri), come un luogo per ripararsi dalla pioggia improvvisa e come zona di intrattenimento per spettacoli che si protraevano nel tempo. Gli ordini di palchi vennero aumentati a cinque e venne aggiunta una copertura mobile che veniva distesa come riparo dal sole che, alla latitudine di Roma, spazza un'ampia zona di gradinate. La parte superiore al portico va considerata quindi dedicata al velarium, alla messa in opera della struttura di sostegno e alle manovre per distendere, ritirare e conservare in luogo asciutto la vela. E' scritto che il tessuto fosse di lino (carbasino), che venisse dipinto di rosso, tintura che, come per le vele nautiche, serve come protezione dai raggi solari e dalle muffe, e che venne poi sostituito con un tessuto di seta sempre rosso con stelle e con la quadriga imperiale, Fig1 a sinistra, retta dall'imperatore che prende il posto della vittoria alata emanazione diretta del sole-dio del periodo repubblicano (Graefe).

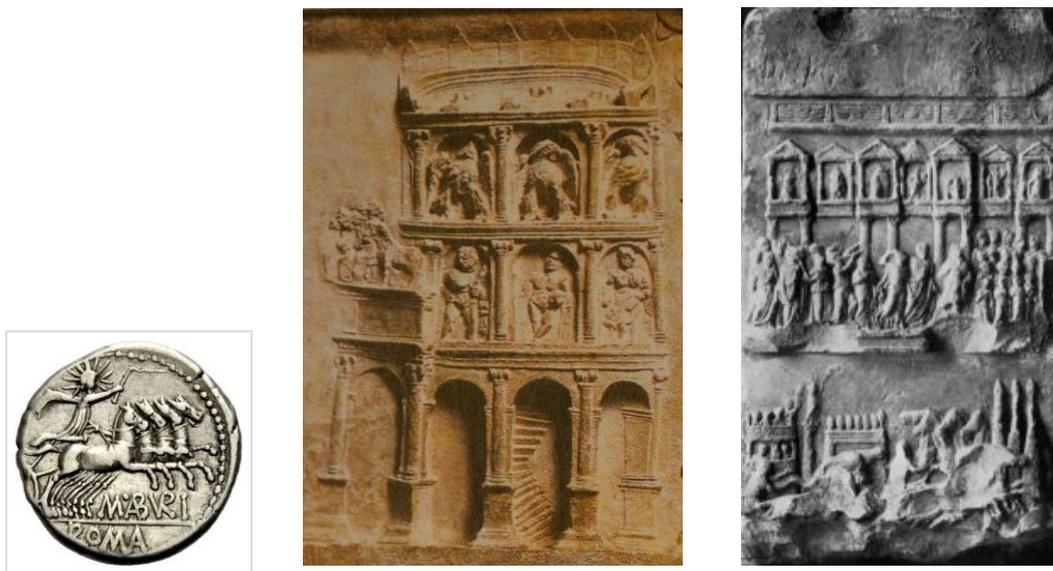


Fig. 1 La vittoria alata che guida, comandata dal dio-sole, una quadriga in un denario dell'età repubblicana, 134 AC coniato sotto C. Aburius Geminus, al centro l'anfiteatro dalla tomba degli Haterii con il particolare della quadriga e strutture sul piano superiore, a destra la lastra di S.Elia di Nepi con scena teatrale, velarium e in basso quadrighe

Piace qui riportare una puntuale descrizione sintetica di questa copertura e della sua storia e alcune considerazioni del noto archeologo Colagrossi (1913) che fa il punto dello stato dell'arte, motiva molte ipotesi, accenna alla necessità dell'aiuto del calcolo, ma poi dice che tutto, in ogni modo,

<sup>1</sup> "Il *Curiosorum urbis* ci assicura che nell'Anfiteatro Flavio v'erano 87000 posti, Regio III. Isis et Serapis. *Continet monetam, Amphitheatrum qui continet loca LXXXVII* - Questo stesso leggesi nel *De Regionibus*, . . .Regio III. Isis et Serapis. *Cont. Monetam. Amphit . . . . . qui capit octoginta septem milia*. - Pomponio Leto nel suo *Vittore* ritiene la stessa cifra. Fra gli scrittori moderni poi ve n'è chi diminuisce d'assai la capacità dell'Anfiteatro portandola a 50000.

rimarrebbe nell'ambito delle ipotesi (SIC!), argomenta con documenti quali fossero le posizioni occupate dalle varie classi sociali e che la classe più abbiente fosse nei primi scanni, si veda la Fig.2.

Nel seguito si adegua tuttavia alla ipotesi corrente che solo parte della cavea fosse coperta, non trae la conclusione che la parte interna dell'anfiteatro dovesse assolutamente essere al riparo dei raggi del sole e che quindi tutto l'anfiteatro dovesse essere coperto dal velarium che si distendeva sostenuto da pali, cita le ipotesi dell'ing. Canina, noto per le sue dettagliate incisioni dei monumenti antichi e sul controventamento dei pali stessi.

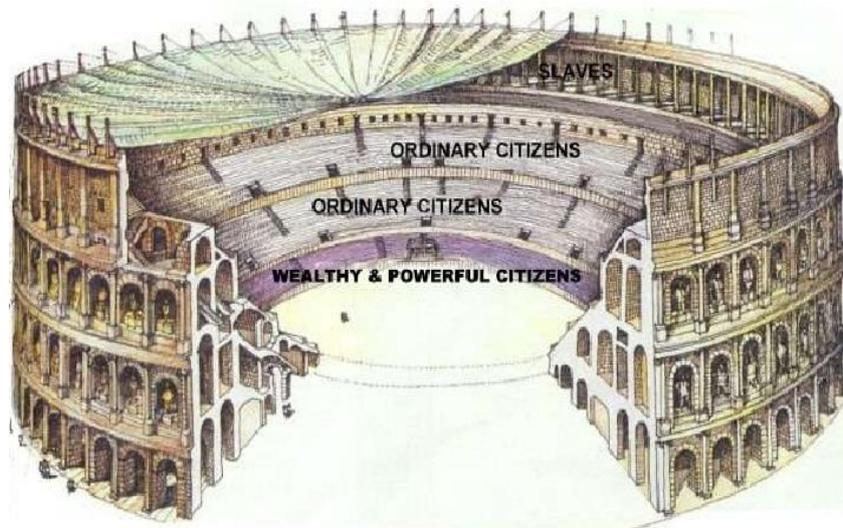


Fig. 2 I cittadini più agiati sedevano in basso nelle gradinate più interne, non è quindi pensabile che fossero lasciati senza protezione dai raggi solari.

*Lo scopo del velario già l'enunciammo: esso serviva a riparare gli spettatori dagli ardenti raggi solari. Plinio, dopo aver narrato delle vele di vario colore adoperate nelle flotte di Alessandro Magno, e di quelle purpuree che avea la nave con cui M. Antonio andò ad Azio con Cleopatra, dice:*

*" Postea in theatris tantum umbram facere"; le quali parole c'insegnano che, abbandonato nelle navi l'uso di vele colorate, passarono queste a far ombra ai teatri. Anche Lucrezio fa menzione di siffatto lusso nei velari: "Et vulgo faciunt id luten intenta. Theatris. Per malos vulgata trabesque tremantia flutant".*

*Il primo che introdusse la tela da navi colorata nei teatri fu, per testimonianza di Plinio, Q. Catulo, allorquando dedicò il Campidoglio. Questa tela parve troppo rozza a Lentulo Spinter, e nei giuochi apollinari, come scrive il citato autore, usò per primo nel teatro vele di finissimo lino: "Carbasina deinde vela primus in theatro duxisse traditur Lentulus Spinter apollinaribus ludis". Ed infine lo stesso Plinio ci attesta che Nerone adornò le vele con ricami d'oro: "Vela nuper colore coeli stellata per rudentes, terra etiam in amphitheatris principis Neronis rubente". Sembra che i velari ordinariamente s'incominciassero a stendere in primavera. L'apprendiamo da due AVVISI, scoperti in Pompei, scritti in caratteri rossi, nel primo dei quali Numerio Popidio Rufo notificava al pubblico che egli il 29 d'Ottobre avrebbe dato in quella città una caccia, e che il 29 di Aprile l'anfiteatro sarebbe stato coperto con velario. L'altro AVVISO fu scoperto sulla via degli Augustali. Relativamente alla struttura del velario, non s'ha a credere che questa sia una cosa tanto facile ad immaginarsi come comunemente si ritiene. Fino a pensare che vi dove essere un'armatura, probabilmente di corde, costituita da duecento quaranta raggi, che partendo dalle travi verticali andassero a rannodarsi ad un ovale centrale più o meno ampio, non vi si trova difficoltà. Ma se si rifletta che il peso dei canapi, delle carrucole, delle tende e delle corde che servivano per tirarle,*

avrebbe fatto necessariamente calare, e non poco, l'ovale centrale, e fatto rimanere il velario pendente in basso, producendo un pessimo effetto ed una disgustosa soffocazione negli spettatori del portico: siamo costretti a ricercar il modo con cui avranno gli antichi cercato di evitare quello sconcio.

Per ottenere lo scopo, si doveva far sì che l'ovale, e quindi i raggi fossero, per quanto era fisicamente possibile, orizzontalmente tesi: in questo caso le tende, attaccate per un capo all'ovale e fissate per l'altro al di sopra dell'attico del porticato, avrebbero formato un dolce padiglione dall'alto in basso, producendo un gradevole effetto.

Questa tensione (che doveva essere fortissima, a cagione del non intercedere tra il piano delle testate delle travi e quelle dell'attico del colonnato spazio maggiore di tre metri) non si sarebbe potuta, ottenere che per mezzo di verricelli, i quali agissero su ciascuno dei duecento quaranta, raggi.

Il Canina saggiamente opinò che alle travi esterne ne corrispondessero altre all'interno dell'edificio, onde ottenere maggiore resistenza. Erano esse necessariamente collegate insieme per mezzo di traverse, formando tutto un sistema. Ce l'assicura Calpurnio: Vidimus in coelum trabibus spectacula TEXTIS

Traduce il Biondi: Coronato di travi in un conteste vidi il superbo Anfiteatro al cielo surgere. ....

Alle testate delle travi interne erano fissate robuste carrucole, a fin di mandare verticalmente le funi ad arrotolarsi ai verricelli orizzontali, i sostegni dei quali poggiavano sul pavimento del portico, ed erano assicurati con arpioni alla parete di perimetro dell'Anfiteatro.

E' bene qui notare che le testate delle travi che sostenevano il soffitto del portico e il soprapposto pavimento, oltre ad essere incassate nella cortina del muro di perimetro, poggiavano sopra solidi mensoloni; e questo dimostra che quelle testate dovevano sopportare un peso maggiore di quello d'un soffitto e di un pavimento. Sorge una difficoltà, ed è che qualora si volesse supporre l'ovale centrale non di altra materia che di canapo, sarebbe stata cosa ben difficile fargli prendere e mantenere la sua forma regolare.

A rimediare a quest'inconveniente, si potrebbe immaginare l'ovale centrale formato di una zona orizzontale di piastra metallica di una sufficiente consistenza e del minor peso possibile; immaginandone inoltre la periferia esterna non maggiore di quanto era necessario per attaccarvi le duecento quaranta funi, e (perché la sua massa fosse relativamente minima) composta di due fasce riunite a traliccio. A questa zona metallica si sarebbero fissati duecento quaranta, anelli onde attaccarvi gli uncini legati ai capi dei canapi. Agli anelli avrebbero fatto capo altre duecentoquaranta corde che, discendendo in dolce curva fin sopra l'attico del portico, avrebbero servito di guida al distendimento e raccoglimento delle vele.

Una corona di metallo dorato, dalla quale scendessero vele cerulee ornate di auree stelle; padiglione degno dell'imponente cavea ove tutto era splendore: sic undique fulgor percussit, sarebbe, non v'ha dubbio, una brillante idea! Ma si sarebbe potuta attuare? La risposta la dovrebbe dare il calcolo, al quale né io ho tempo di consacrare, né, credo, varrebbe la pena di consacrare, restando la cosa in ogni modo nel campo delle ipotesi. L'operazione di tendere il velario si eseguiva sul terrazzo soprapposto al portico, ed era affidata a'soldati di marina. Lampridio scrive: Sane quum illi saepe pugnanti, ut deo, populus favisset, irrisum se credens, populum romanum a militibus classariis qui vela ducebant in amphitheatro interim praeeperat; e questi marinai furono certamente i Misenati, perchè essi avevano il loro quartiere nella stessa regione dell'Anfiteatro. Nel Curiosorum e nel De Regionibus leggiamo: III Regio .... Castra Misenatium.

Questa così dotta esposizione va integrata con la descrizione dell'ing. Efsio Luigi Tocco che appassionatamente raccoglie e fa riferimento a documenti antichi e mette in evidenza, argomentando in modo convincente, che al di sopra del porticato vi era un tavolato *maenianum summum in ligneis* dove potevano trovare posto alcuni spettatori (riservato alle donne). Riporta che questo tavolato fosse di legno perché andato a fuoco per ben tre volte e che viene almeno in un caso

documentato che non fu possibile spegnere l'incendio malgrado l'acqua portata e anche malgrado la pioggia. L'ing. Tocco, sposando l'ipotesi che tutto l'anfiteatro fosse coperto, pone l'ipotesi che al centro dell'arena vi fosse un altissimo palo che potesse sostenere l'enorme peso dell'attrezzatura. Tralasciando questa non provata ipotesi, ripresa da un presunto ritrovamento nell'arena di Verona di un "pozzo" posto al centro dell'arena, si riprende il ragionamento e si considerano documenti sul tavolato deducendo che il tavolato fosse un "ammezzato" al di sotto del quale potessero trovare riparo le vele e al di sopra del quale sporgessero i pali di sostegno. E' ovvio che sul tavolato gli spettatori potessero essere ammessi solo con il velario ammainato. Nulla vieta che una volta montata la parte di forza gli addetti non dovessero più occuparsi delle funi di sostegno ma lavorassero soltanto nella parte inferiore, calpestando il pavimento superiore al portico e che quindi la parte superiore al tavolato di riparo fosse agibile. Altra considerazione che va ad integrare quanto scritto sopra va presa dall'ing. Canina che si preoccupa di trovare un riparo per le vele una volta ammainate. Va sottolineata l'affermazione, confermata da Plinio, che il *velarium serviva a riparare gli spettatori dagli ardenti raggi solari*. Questa affermazione, confermata anche dal calcolo, mostra l'impossibilità di sostenere la tela in presenza di pioggia, dato l'enorme carico che non potrebbe venire sostenuto e anche dalla modestissima pendenza per lo scolo dell'acqua. Va inoltre sottolineata l'affermazione che il velario non potesse essere *pendente in basso, producendo un pessimo effetto ed una disgustosa soffocazione negli spettatori del portico*.

### Ciò che rimane del velarium e delle sue attrezzature nelle rovine dei vari anfiteatri

L'esistenza del velarium costituito da una tela che riparava dal sole gli spettatori e che veniva sostenuta da funi è documentata, come visto e come si vedrà, da vari scrittori. Vi sono ancora oggi tracce sulla struttura muraria, dato che sono ancora visibili mensole di sostegno dei pali e fori nella cintura sporgente della parte terminale. Questi resti sono visibili nel Colosseo Fig.3 e sono ancora visibili nella parte più alta di numerosi anfiteatri elencati con precisione da Graefe, in particolare sono visibili anche nella parte alta dell'arena di Verona Fig.4, dove viene chiamata proprio *vela*. La tecnologia del sostegno dei pali va pensata del tutto simile a quella impiegata in marina dove l'albero viene calato in una apertura detta **scassa** che attraversa tutti i ponti, si appoggia al ponte superiore dello scafo sulla **mastra** e inferiormente viene sostenuto in una zona che spesso, per la forma, prende il nome di **bicchiere** Fig.3. Questa tecnologia è comprovata dalle testimonianze dirette di scrittori che affermano l'esistenza di almeno 100 marinai addetti alla manutenzione e all'uso di questa enorme tenda e della sua struttura di sostegno.



Fig.3 I fori nel cornicione e le mensole di sostegno per il velario del Colosseo

Rilievi con dimensioni e dettagli di questi sostegni sono riportati da vari Autori (Giovenale, Canina, Graefe). Da questi rilievi si conosce che i fori nella mensola avevano dimensioni variabili da un massimo 50x42 cm ad un minimo di 37x38 cm (anche in <http://www.velario-colosseo-velarium-colosseum.com/it/>) e che il sostegno inferiore avesse una incameratura non più profonda di 5 cm.



Fig. 4 I fori a sezione circolare presenti sulla *vela* dell'arena di Verona databile all'anno 80

Questo ancoraggio, soprattutto per la modesta profondità del “bicchiere”, non appare sufficiente a resistere all'enorme sforzo provocato dalle funi che sostengono la vela (Giovenale), Colagrossi riporta che l'ing. Canina (Colagrossi), che diresse i lavori di restauro del Colosseo nel 1850 (Treccani – restauro statico) affermava la necessità di un adeguato sostegno di questa serie di travi e aveva ipotizzato l'esistenza di saettoni, Fig.5, che collegassero i pali con la parte superiore del cosiddetto “colonnato” cioè dell'ultimo piano del Colosseo e che fossero dotati anche di grappe di sostegno sul muro principale. A riprova di questa supposizione Colagrossi riporta il passo di Calpurnio: *vidimus in coelum trabibus spectacula textis* nella traduzione del Biondi “*Coronato di travi in un conteste vidi il superbo anfiteatro al cielo surgere*”.

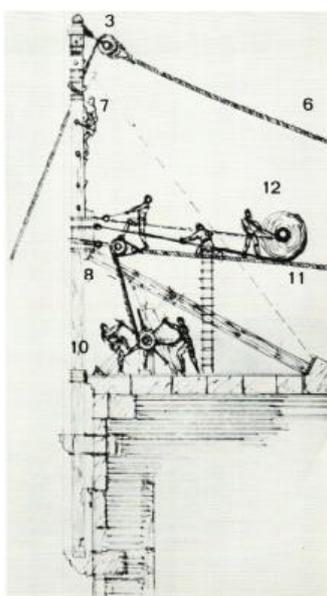


Fig.5 Il saettone di sostegno alle travi, il controvento esterno, un sistema di tesatura delle funi inferiori e l'operazione di svolgimento della tela raccolta in rulli (Canina)

## Fonti e documenti

Vengono qui riportate le “fonti” di riferimento, mentre le fonti scritte, per non appesantire il testo, sono riportate in Appendice.

### a) Le immagini nei bassorilievi e nei dipinti

Il bassorilievo degli Haterii (Fig.1 al centro)

Alcuni (Graefe) pensano che il bassorilievo degli Haterii contenga un'immagine non realistica ma fantasiosa del Colosseo. *"The Haterii tomb in my opinion is a rather fanciful design of the Colosseum"*. L'immagine è, in effetti, di non facile interpretazione. La tomba, quindi le sculture che la decorano, pare risalga all'inizio del II secolo d.C., quando il Colosseo era già completo anche del 4° ordine. Non è chiaro, quindi, per quale motivo la rappresentazione si riferisca ad uno stadio anteriore, in cui erano presenti solo i primi 3 ordini. Il Graefe (Vela Erunt, pag. 101) ritiene che le strutture indicate al 4° piano si possano riferire ad una serie di pali collegati da una trave di cintura, probabile sostegno di un velarium.

La lastra di Castel S. Elia di Nepi (Fig. 1 a destra)

Questa lastra è ora conservata nella cattedrale romanica di S. Maria o di S. Sebastiano; viene descritta da Ciotti (Ciotti) come avente nella *figurazione inferiore una corsa di quadrighe nel circo e l'altra descrive una scena interessante e singolare che si svolge in un teatro.... Notiamo una esemplificazione sommaria del velario e nonostante la forte schematizzazione ... non lascia adito a dubbi sulla interpretazione di quelle piccole semilune raccolte entro cassettoni rettangolari. E più avanti.... Sicuro è il riconoscimento del velario: la forte schematizzazione delle tende è forse dovuta all'intento di sfruttare questo elemento come decorazione ornamentale al principio del rilievo, in modo da farne una specie di cornice.*

*Per la città la ricerca non può condurci che a Roma o in uno dei centri romani vicini a Castel S. Elia (ad Es. Nepet, Sutrium o Falerii) poiché da questi o da quella grande miniera di marmi che fu l'Urbe in ogni tempo doveva provenire il marmo riadoperato nel medioevo.... Rileva in questa scena gli influssi di quella corrente artistica che va sotto il nome di flavia (quindi coeva con il Colosseo).*

Affresco di Pompei

Di particolare interesse è l'affresco rinvenuto a Pompei che raffigura l'anfiteatro Fig.6, avente dimensioni ridotte rispetto al Colosseo, ed anche il velarium in posizione raccolta. L'affresco è ovviamente precedente al 79 d.C. e mostra sezioni di tela a festoni comprese tra elementi longitudinali di sostegno. La copertura è ovviamente "aperta", sarebbe meglio dire "sezionata", per mostrare, come pensato da vari studiosi, l'interno dell'arena con un famoso vittorioso evento.



Fig. 6 Affresco con Il velarium dell'anfiteatro di Pompei (museo di Pompei)

### Anemoscopio del Palatino

La pietra rinvenuta sul Palatino nel 1776 Fig.7 ora ai Musei Vaticani e ritenuta dagli archeologi un *anemoscopio*, capace di valutare la direzione e l'intensità dei venti che potevano interessare il Colosseo, dimostra che i Romani tenessero in continua osservazione queste entità dato che certe direzioni ed intensità dei venti non consentivano l'apertura del velarium. Plinio scrive che in presenza di un vento di notevole intensità si era spezzata una fune del velarium e che la vela sbattendo faceva un suono che copriva quelli dello spettacolo in atto nella cavea (Colagrossi).



Fig. 7 La pietra rinvenuta sul Palatino e ritenuta la base di un *anemoscopio* per valutare la direzione e l'intensità dei venti sul Colosseo ora ai Musei Vaticani

### b) Le immagini nelle monete

L'immagine del Colosseo è riportata in numerose monete, ma date le dimensioni ridotte delle monete stesse non si può risalire completamente alla forma della copertura ma sono ben visibili i pali che sporgono sulla sommità della struttura e in alcuni una fascia di collegamento distinta rispetto al portico dell'ultimo ponte. Vi è una immagine sul sesterzio di Tito avente diametro di 34,7 mm ora al Munzkabinett Winterthur nella quale si possono vedere i pali, le cinture di sostegno ed il velarium (Graefe) Fig.8. Questa immagine sembra rappresentare molto bene la realtà di allora anche se non sono visibili le funi di sostegno, che forse si può pensare non fossero ancora montate.



Fig. 8 Immagine rilevata dalla moneta dal sesterzio di Tito da Munzkabinett Winterthur 34,7 mm (Graefe). Si possono vedere i pali, le cinture di sostegno, le vele raccolte

Sigillo aureo di Federico Barbarossa Fig.9 conservato al Staatliche Museum Münzkabinet di Berlino, l'immagine ha interpretazioni controverse: mostra il Colosseo durante un incendio o ne mostra le vele con i loro ricoveri



Fig. 9 Sigillo aureo di Federico Barbarossa rappresentante Roma con al centro il Colosseo con bandiere al vento o con un incendio come alcuni sostengono

Le altre monete Fig.10 che riportano una immagine del Colosseo sono: il sesterzio di Tito (79-81), la moneta di Alessando Severo<sup>2</sup> 223, il medaglione di Gordiano III 239-243



Fig. 10 Serie di monete romane con l'immagine del Colosseo negli anni 80, 222 e 238-244.

<sup>2</sup> Ciotti (Ciotti) dà notizia di una moneta dei sacra saecularia di Settimio Severo e Caracalla (Bernhart handb. Munzkunde d. rom. 1926, p.78. II tav 56,13)

## Una rassegna sintetica di alcune fra le tante soluzioni proposte

Si passano in rassegna in modo sintetico alcune fra le ricostruzioni proposte, mettendo in evidenza come all'Università del Michigan il prof. Kent Hubbel abbia proposto ai suoi studenti questo interessante problema ed abbia costruito un modello sul quale gli studenti stessi potessero esercitare la loro fantasia costruttiva e quindi provarne la fattibilità (Goldman).

La più ampia rassegna di tutti i tentativi di interpretazione della struttura di questa copertura e del suo funzionamento è riportata da Rainer Graefe, *Vela Erunt: Die Zeltdaecher der Roemischen Theater*, Philipp von Zeibern, Mainz 1979. A questo testo va fatto riferimento per il puntiglioso elenco di tutta l'ampia bibliografia sull'argomento. Prima di entrare nel merito delle soluzioni proposte si riporta anche qui quanto scritto da Giovenale nel 1931: *Vi è stato chi ha voluto applicare al Colosseo il presunto sistema di Q. Catulo immaginando che bastasse tendere tele verticali tra i 240 pali infissi nella cornice perimetrale; ma tale ipotesi non è ammissibile perché nelle ore medie della mattinata e del pomeriggio, affinché l'ombra giungesse almeno al podium dell'emiciclo opposto al sole sarebbe occorsa una altezza di pali e di tende assolutamente enorme; nelle ore canicolari poi le tende verticali avrebbero appena coperta la terrazza del sommo portico. Il velario, lo ripeto, doveva essere in grado di provvedere alle esigenze degli spettatori in tutte le ore e quindi la cavea doveva potersi integralmente coprire.*

### Antoine Desgodetz 1687

Nel suo testo di riferimento sui più conosciuti monumenti romani con tavole in scala, dice che la vela copriva tutto l'anfiteatro e fa un rilievo delle mensole e delle cravatte sulle quali si appoggia e sulle quali passano i pali che (è opinione comune) sostenessero con funi tutta la copertura Fig.11. Non fa nessuna ipotesi sulla vela e sul modo di stenderla.

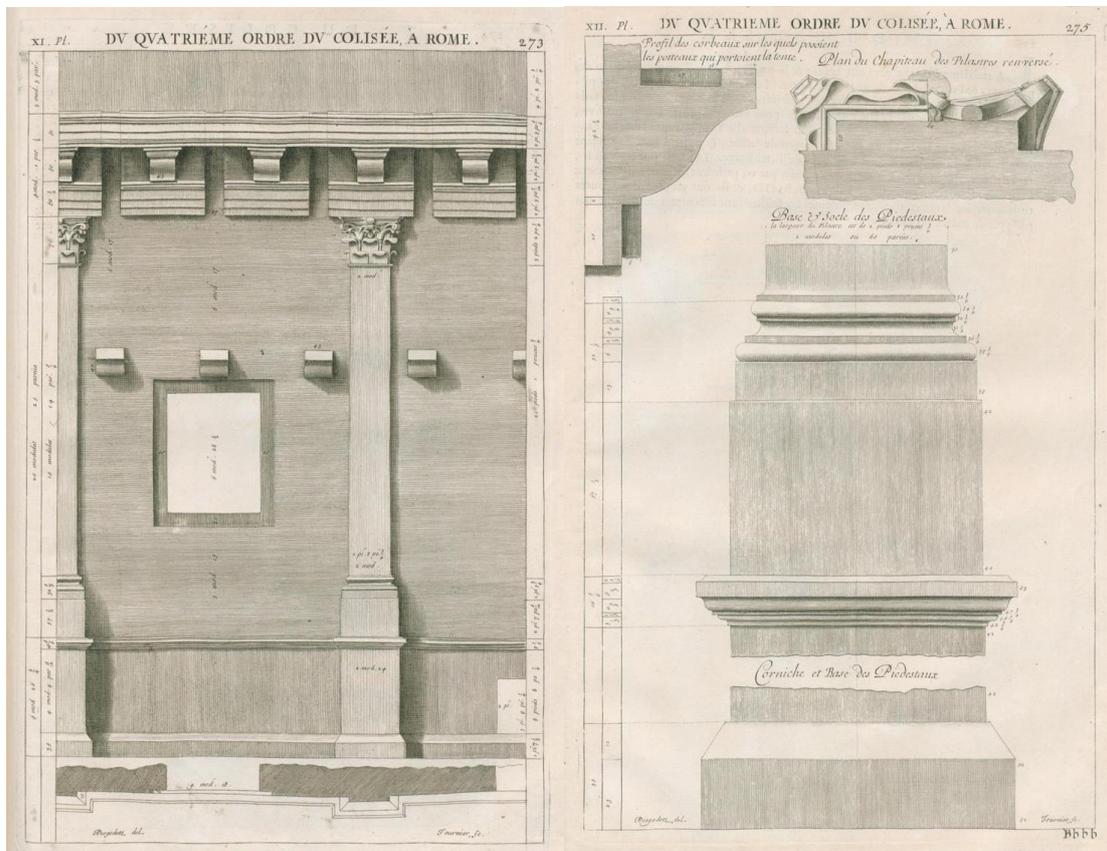


Fig. 11 Il rilievo di Desgodetz

### Giuseppe Antonio Borgnis *Traité Elementaire de Construction* 1820

Professore di Meccanica applicata a Torino, in uno dei tomi della sua celebre opera scrive che il velarium era costituito da funi che a coppia, in parallelo, sostenevano tramite sporgenze ad occhielli, un grosso anello con perimetro uguale alla metà di quello esterno, fatto a settori collegati fra loro a sandwich. La vela pendeva dall'esterno verso l'interno e dall'alto in basso. Su queste funi scorrevano anelli che sostenevano il telo che aveva stecche di rinforzo e che poteva essere steso come una vela di nave e ritirato in alto. Di fianco alla mensola mette un tubo, forato lungo la lunghezza e allargato in alto a forma di imbuto, sul quale pensa venisse rovesciata acqua e profumo che quindi si spandeva sugli spettatori per rinfrescarli Fig.12.

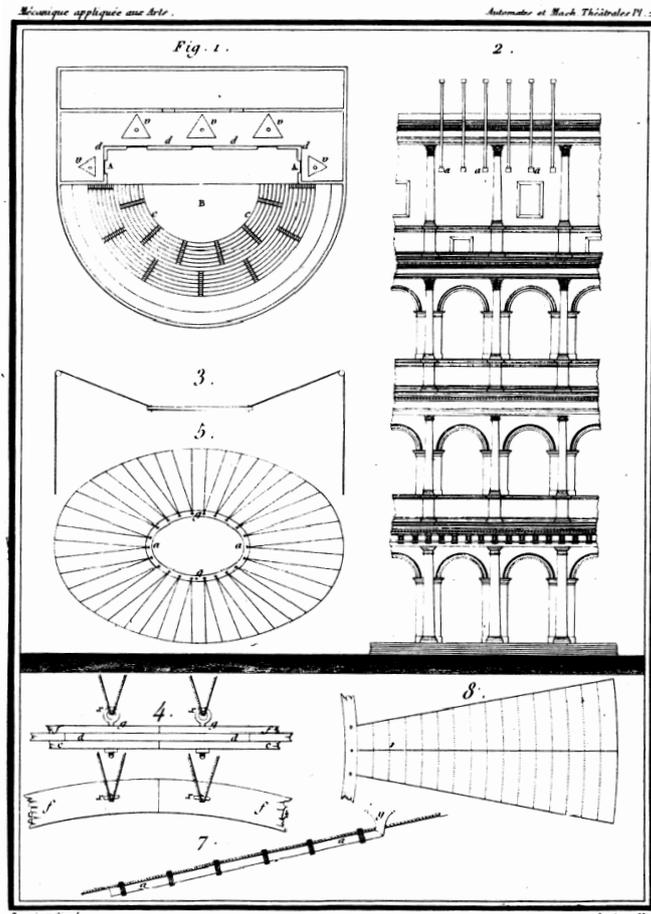


Fig. 12 La soluzione proposta da Borgnis

### Stankovich Pietro 1822

Il Canonico Pietro Stankovich nel 1822 riprende l'idea del Carli che prevede di tirare funi dalla sommità di un palo alla base del palo diametralmente opposto e di stendere la vela sopra i tratti delle funi più basse Fig.13..

*Ho seguito l'idea del velario del Carli, la qual è la migliore fra quelle fino ad ora inventate e che nel nostro Anfiteatro non poteva essere altrimenti per i chiari e visibili incassi delle travi nell' esterno del recinto tra gli archi da y ad s. Tav. IV, e pel relativo traforo della gronda in y. Le travi A B passavano la gronda in y, venivano incassate alquanto nei marmi da y ad s ed in s coll'estremità erano fissate in un apposito incavo. Tra i piedi della banchina y si legava una corda, che si stendeva sino A, ove con una carrucola era ben tesa. Tra i piedi della banchina opposta y si legava altra con la , che si stendeva egualmente sino B, ov'era ben tesa e così successivamente per altre travi ed in modo che facevano tanti diametri intersecanti nel mezzo G, dov'era un cerchio con altre carrucole per ricevere altra corda, fissata alla punta della vela, fatta a cono e coll' estremità della base assicurata ai piedi delle banchine e per tutta la lunghezza fornita di anelli» coi quali stavasi appesa al raggio y CU marinaro tirava detta corda e la punta della vela si stendeva al centro C ed , a questa punta essendo legata altra corda , il marinaro tirava pur questa e la vela si ritirava piegata sopra il tetto della loggia inserviente a ritenere le vele piegate ed a comodo dei marinari destinati al travaglio. Io trovo questa idea tanto facile e piana, che m'impegno a darla in effetto nell'Anfiteatro di Pola,*

quando qualcuno volesse incontrarne la spesa: né si creda che grande spesa potrebbe esservi, mentre quattro antenne e due vele sono sufficienti a farne la prova. Avendo l'Anfiteatro di Roma i medesimi incassi pei travi, come questo di Pola, io giudico che lo stesso meccanismo vi fòsse pure in quello.

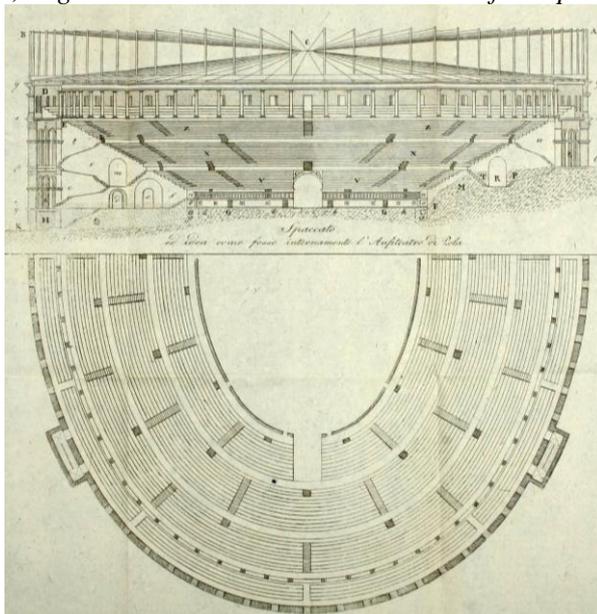


Fig. 13 La soluzione Carli ripresa da Stancovich per l'anfiteatro di Pola

#### Alvino Francesco, 1833

Come riportato da Cozzo (1931), la soluzione proposta per coprire l'anfiteatro di Capua, Fig. 14, considera: *Delle strisce di tela rettangolari scorrono sopra corde tese parallelamente all'asse minore dell'anfiteatro; egli ne progetta anzi, un doppio ordine, evidentemente per assicurare meglio l'impenetrabilità ai raggi del sole. La manovra di ripiegamento del velario in questo caso è possibile, ma i teli avrebbero avuto una lunghezza eccessiva e quindi non pratica. Nell'anfiteatro Flavio, per esempio, alcuni di questi teli avrebbero avuto 150 metri di lunghezza.* Questa soluzione non può essere compatibile con la equidistanza dei pali sul bordo esterno dell'anfiteatro.

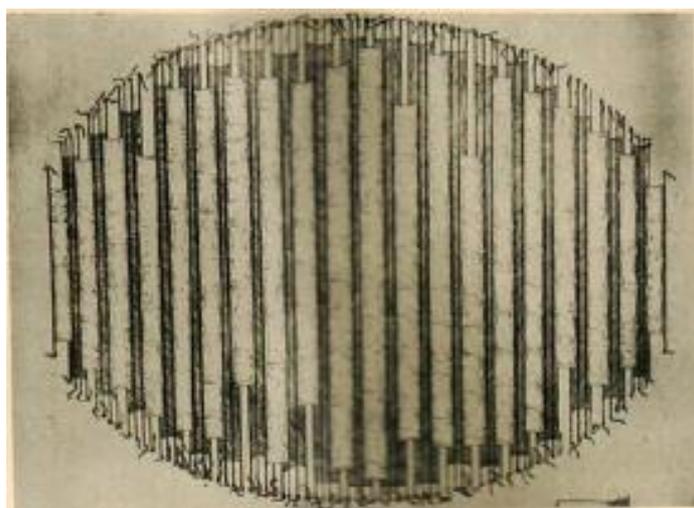


Fig. 14 La soluzione in strisce proposta dall'arch. Alvino per coprire l'anfiteatro di Capua.

#### Nibby A. 1838

Giovenale riporta le frasi del Nibby: *Conoscendosi la esistenza delle travi verticali, alle quali era principalmente appoggiato il velario, parmi potersi supporre che da ciascuna di quelle, che erano 240, partisse una corda che si annodava ad una ellissi pensile, pur di canapo, e sopra questi 240 raggi tendevansi le strisce triangolari di lino per mezzo di carrucole, strisce che non avevano più di 8 piedi alla*

*base, e che si andavano successivamente tendendo, secondo lo stato del sole.* La manovra poi egli ritiene fosse eseguita, da marinai della flotta misenate, dall'alto della terrazza che copriva il sommo portico.

### **Elvisio Tocco 1845**

Dopo aver passato in rassegna le fonti scritte conosciute, sostiene che il velario coprisse tutto l'anfiteatro, e non solo la zona delle tribune e che pendesse da un grosso albero di nave posto al centro dell'arena. Sostiene inoltre che le travi sull'ultimo coronamento servissero a sostenere il tetto di una aggiunta di legno posta sul solaio del porticato. Adduce a motivare la sua scelta che: i marinai della flotta stavano fra gli spettatori – se avessero dovuto accudire alle vele sarebbero stati sopra al porticato- e che sopra al portico esistesse un ulteriore piano realizzato in legno, una specie di *barcaccia*, con posti assegnati. Pensa inoltre che i pali non potessero sostenere un forte carico ortogonale per modesta profondità dello scasso che hanno i mensoloni di appoggio dei pali stessi.

### **Luigi Canina 1848**

E' l'ingegnere che disegna nel dettaglio i maggiori monumenti romani e che dirige i lavori del restauro del Colosseo. Come riportato da Colagrossi Canina ipotizza la necessità che vi fossero saettoni di sostegno ai pali che scaricavano il carico sul soffitto del porticato e che dovevano essere anche aggrappati con staffe metalliche al cornicione.

### **Carlo Lucangeli 1848**

La descrizione molto precisa e quasi perentoria di Lucangeli del velario viene pubblicata postuma dal genero e quindi viene in gran parte lasciata purtroppo senza argomentazioni, ma si riporta quanto scritto:

*Ecco in succinto la descrizione di questa gran copertura che liberava gli spettatori dai raggi del sole, ed anche in qualche maniera dalle piogge: lasciando scoperto il solo ovato dell'arena; onde non manesse il lume da potersi vedere gli spettacoli. Le vele, che componevano tutto il velario distese a guisa di raggi una presso all'altra, eran 40. La loro lunghezza uniforme era di palmi 200. La larghezza maggiore era pur in tutte la medesima; di palmi cioè 52: la minore, o la più vicina al di esse, di palmi 30 e nelle altre di 15. L'armatura per sostenerle consisteva in pali, e canapi. I pali del gran contorno, già dianzi accennati, eran 240, tutti di legno con fodera di rame: avean di lunghezza palmi 42, e di larghezza due palmi scarsi per ognuna delle sue quattro facciate I canapi, distesi sotto al velario, palo: il numero delle era 28: due prendevano a linea retta tutta la lunghezza dell' anfiteatro: ed altri 26, attaccati a questi due, formavano- l' armatura: eranvi inoltre un canapo, che circondava il vano, corrispondente all' arena, al quale erano affidati i 212 da nominarsi in appresso. Gli ordigni canapi i verocchi parimenti 240 a ragion dl uno per ogni sola differenza, che 200 eran a due girelle, e le altre 40 a tre.*

### **René Chambon**

L'ing. Chambon propone una struttura sospesa alle antenne perimetrali, con pendenza verso l'interno, funi radiali che fanno capo ad un anello interno posto a quota più bassa del coronamento della parete esterna. Comprova questa struttura con una verifica statica delle forze in gioco.

Questa ricostruzione ha dato luogo alla realizzazione di una struttura nel parco tematico del Puy du Fou, sito a Les Epesses (Vandea, Francia). Nel parco si realizzano spettacoli di rievocazione storica, ed in esso è presente anche un anfiteatro, ovviamente di dimensioni non paragonabili a quelle del Colosseo, ma nel quale si tengono spettacoli simili a quelli originali dell'epoca romana, con "gladiatori" ecc.

Nella struttura realizzata, il velo lascia aperta la zona all'interno dell'anello centrale, la cui pianta coincide con quella dell'arena. Restano perciò coperte solo le gradinate, con esposizione ai raggi solari di gran parte delle gradinate stesse come si vede in Fig 15.

Piace ricordare anche qui le parole di Giovenale del 1931: *Ma, intendiamoci: da un elementarissimo studio risulta che, per quanto ristretto si voglia supporre quest'occhio centrale, i raggi solari attraversandolo avrebbero immancabilmente colpito una qualche parte della cavea, salvochè nell'istante ideale del sole allo zenit. Pel primo sarebbe rimasto offeso il podium, cioè il luogo riservato al più ragguardevole ceto degli spettatori, e più specialmente, data l'orientazione del monumento, il pulvinar imperiale.*

Le autorità di controllo sulle costruzioni inoltre all'atto dell'approvazione del progetto avevano richiesto la garanzia della incolumità degli spettatori, attraverso la realizzazione di una copertura che fosse in grado di sopportare anche gli effetti del vento. E la soluzione così è stata radicalmente variata come segue:

- sospensione del velario non alle antenne, ma ad un anello di acciaio continuo, posato sul coronamento della parete esterna dell'anfiteatro; l'anello è collegato alla parete tramite un insieme di biellette mobili nel piano orizzontale, così da consentirne la libera dilatazione termica senza pericolose scambio di forze tra acciaio e muratura,



Fig. 15 Nella foto della realizzazione del velarium di Chambon si può capire il disappunto degli spettatori ai raggi del sole: il velo è completamente spiegato ma molti spettatori non sono affatto protetti, anche nelle gradinate in alto

- realizzazione dell'anello centrale pure in acciaio, con schema reticolare così da conferirgli una notevole rigidità nei confronti di possibili spostamenti verticali relativi,  
- collegamento dei due anelli di acciaio mediante doppio ordine di cavi radiali pure di acciaio, non si sa se eventualmente pretesi; i cavi fungono ovviamente da sostegno dell'anello centrale e consentono lo scorrimento dei teli di copertura, realizzati in materiale sintetico,  
- irrigidimento dell'anello centrale tramite otto tiranti verticali che lo collegano al suolo,  
- rapidità ed automatismo delle manovre di apertura e chiusura dei teli attraverso motorizzazione elettrica.  
Si raggiunge così, per la copertura, la possibilità di sopportare anche depressioni (carichi dal basso all'alto) nonché carichi non simmetrici per la forte rigidità conferita all'anello centrale. Al di là della forma esteriore, è evidente che la struttura, sotto l'aspetto statico e costruttivo, è tutt'altra cosa rispetto a qualsiasi ipotesi di realizzazione del "velarium" storico.

### **Aldo Neppi Modona 1961**

*Il velario era sostenuto da cordame, e precisamente da 240 corde che si annodavano con un'ellisse pensile centrale. Esse erano tese da speciali carrucole e vi erano destinati 100 marinai del Capo Miseno. Tale sistema doveva essere usato anche negli anfiteatri di Capua, di Pompei e di Pola. In nota riporta: Cozza, dopo aver elencato precedenti proposte ricostruttive sulla manovra e disposizione del velario, ne propone una sua di cui dà il disegno alla tav. appare più pratica e plausibile: alla superficie trapezoidale compresa tra due corde tese doveva corrispondere un settore di vela con forma propria rettangolare, col lato minore uguale o più grande della distanza fra due antenne di sostegno e col lato lungo della stessa misura delle corde tese. La manovra doveva potersi effettuare con grande rapidità anche lì per lì, in seguito a qualche ordine o mutamento improvviso di tempo.*

### **Manziona 1982**

Manziona, riprendendo antiche soluzioni che prevedevano la necessità di ancorare a terra le funi di sostegno della velatura Fig.16, scrive: *Un anello centrale sostenuto da cavi che pendevano dall'alto dei 240 alberi ma che erano controventati sull'esterno con le funi che scendevano fino al piano stradale e che venivano ancorate a cippi disposti tutt'attorno al Colosseo ad una distanza di 18 m.*

Questa tesi è recentemente caduta dopo che lo scavo ha dimostrato che i cippi non avevano fondazioni e che quindi venissero impiegati solo per la recinzione dell'area e che i fori presenti fossero i testimoni dell'ancoraggio di una precedente ringhiera.

Ricostruzione ipotetica del sistema di funi che servivano per alzare gli 88 spicchi del velario. Si notino le doppie funi ancorate sul medesimo trave di sostegno, ogni tre travi, che permettevano di manovrare indipendentemente dagli altri ciascuno degli 88 spicchi che componevano il grande velario.

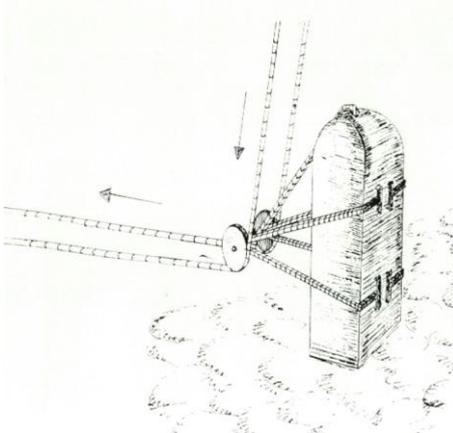
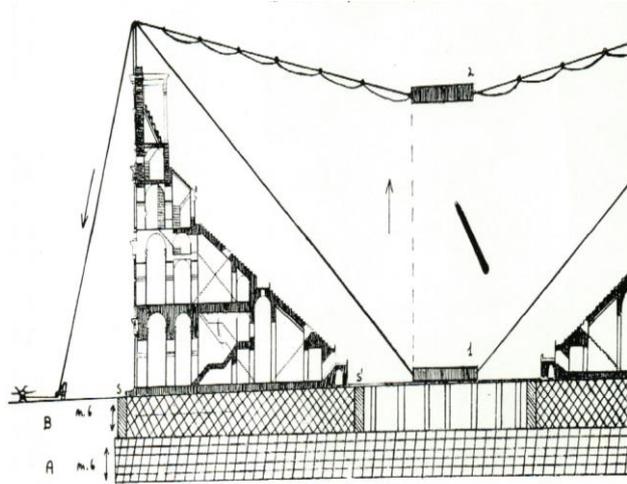
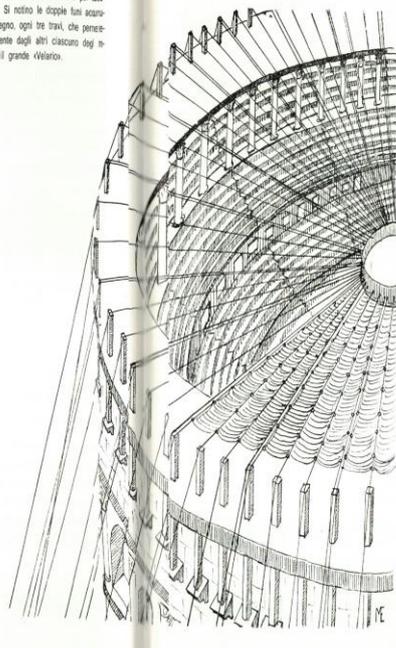


Fig. 16 In alto la soluzione proposta da Manzione, in basso il particolare di fissaggio delle funi ai pilastrini posti al piano stradale e tutt'attorno all'edificio ad una distanza di circa 18 metri. L'ancoraggio, che dimostra alcune criticità, non ha retto alla verifica dell'idoneità della fondazione (Manzione).

Tralasciando le soluzioni più fantasiose che si sono succedute nel corso del tempo, la soluzione che accomuna quasi tutti gli studiosi è quella di considerare una copertura spiovente verso l'interno dell'anfiteatro e di considerare che questa abbia un vuoto centrale più o meno grande. A questa ipotesi fanno eccezione Desgodetz e Tocco che danno per scontata la copertura totale dell'arena; Colagrossi non accetta che le vele siano rivolte verso il basso nella parte centrale di esse, dato che in questo modo danno un senso di oppressione, e devono assomigliare dal punto di vista architettonico alle volte degli edifici.

### **Ipotesi e modelli sulla realizzazione pratica della copertura**

In questo studio, nato per curiosità in occasione del bando di idee per la copertura dell'arena di Verona, che si è protratto nel tempo, sono state inizialmente valutate alcune soluzioni che prevedevano oltre alla copertura dai raggi del sole anche la raccolta delle acque in caso di pioggia. Vengono qui riportati alcuni modelli (sulle dimensioni in scala dell'arena di Verona) che non hanno poi retto la verifica statica per l'enorme carico, di anche pochi millimetri di pioggia.

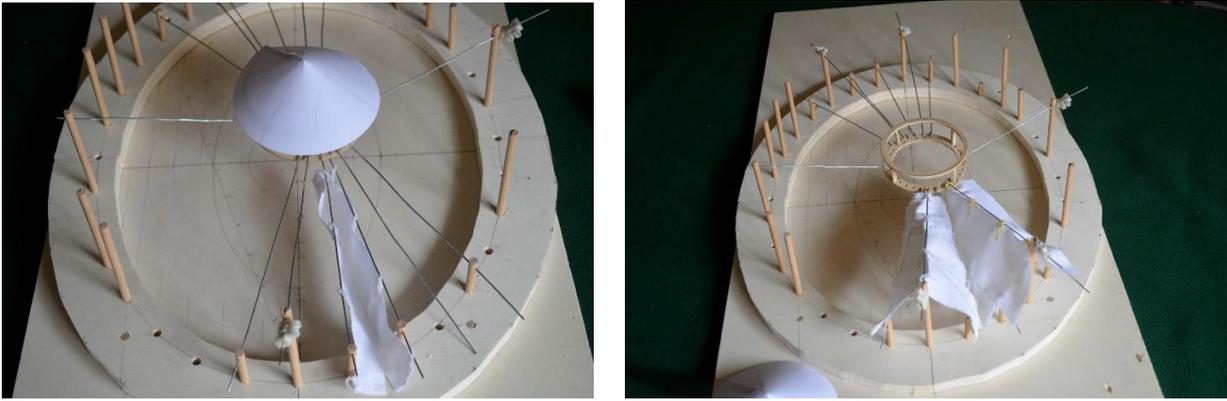


Fig. 17 Il modello con una cupola centrale e teli radiali che, a coppo, potrebbero raccogliere l'acqua e convogliarla all'esterno.

In Fig.17 si riporta un modello con un anello circolare interno ed una serie di vele a forma di grandi *coppi*, alternativamente convessi e concavi. In questo caso oltre a quanto detto, si devono prevedere un gran numero di vele fra loro diverse dato la diversa lunghezza dell'anello centrale rispetto alla posizione dei pali di sostegno.

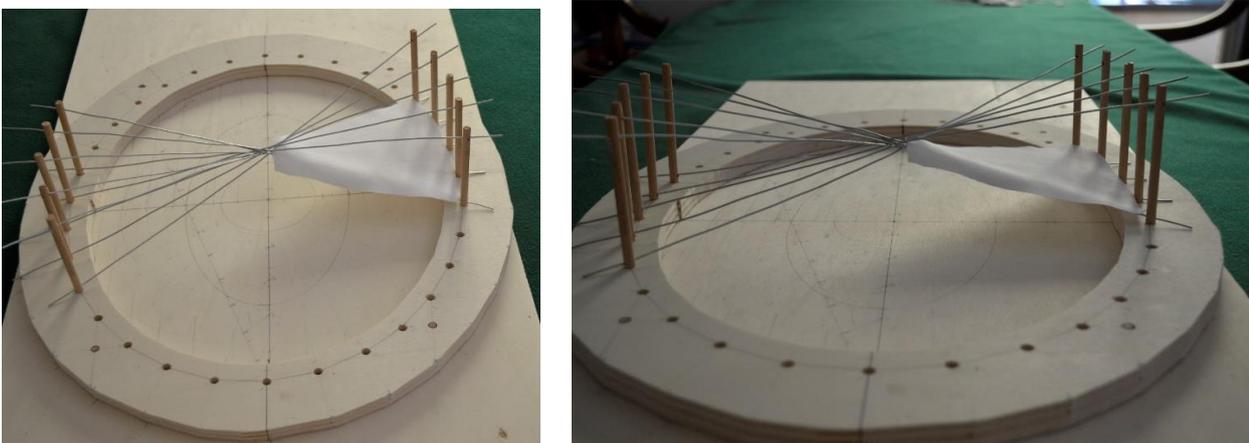


Fig. 18 Il modello con funi diametrali

Un sistema Fig.18, con una "rigata" di gran effetto visivo, molto simile a quello illustrato da Stankovich/Carli, impiega funi che corrono in senso diametrale, nel senso che ogni fune parte dall'alto di un palo e si collega alla base del palo diametralmente opposto. Il modello mostra tutta l'impraticabilità della soluzione sia per il gran peso delle funi impiegate, di diametro notevole anche nella parte inferiore, cioè nella zona di sostegno diretto della vela; mostra la difficoltà del montaggio per la sequenza richiesta nella sovrapposizione delle funi. In questo caso inoltre tutte le vele devono avere lunghezze fra loro differenti raggruppabili solo in minima parte.

Si passa a considerare la necessità di introdurre un anello centrale a forma circolare o ellittica sospeso dalle funi che partono dalla sommità dei pali e una serie di funi, di diametro di gran lunga più basso, che partono dall'anello centrale e che si collegano alla parte bassa dei pali. Su queste si possono stendere le vele Fig.19.

Si arriva quindi a considerare un anello molto schiacciato con collegamenti trasversali che permettessero di bilanciare gli sforzi laterali nella zona centrale e che si sviluppasse approssimativamente lungo i due fuochi dell'ellisse di base Fig.20.

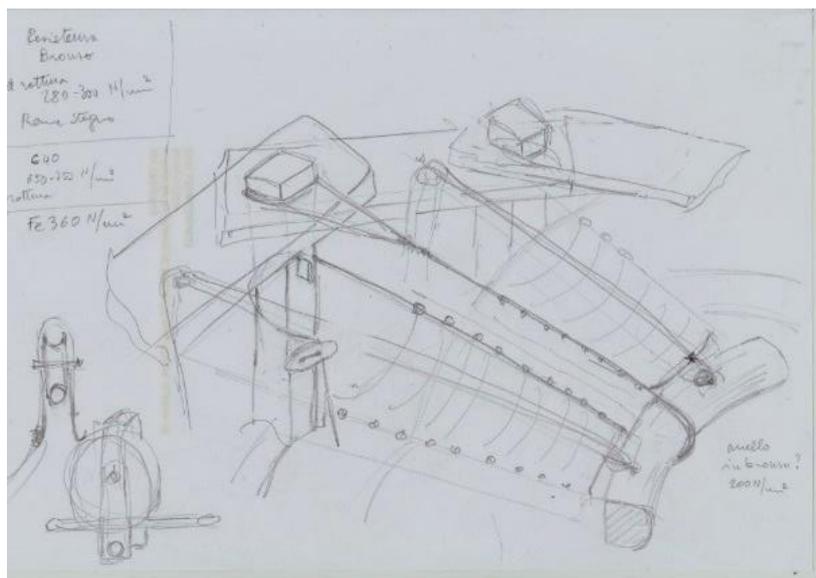


Fig 19 Uno studio sulla controventatura dei pali

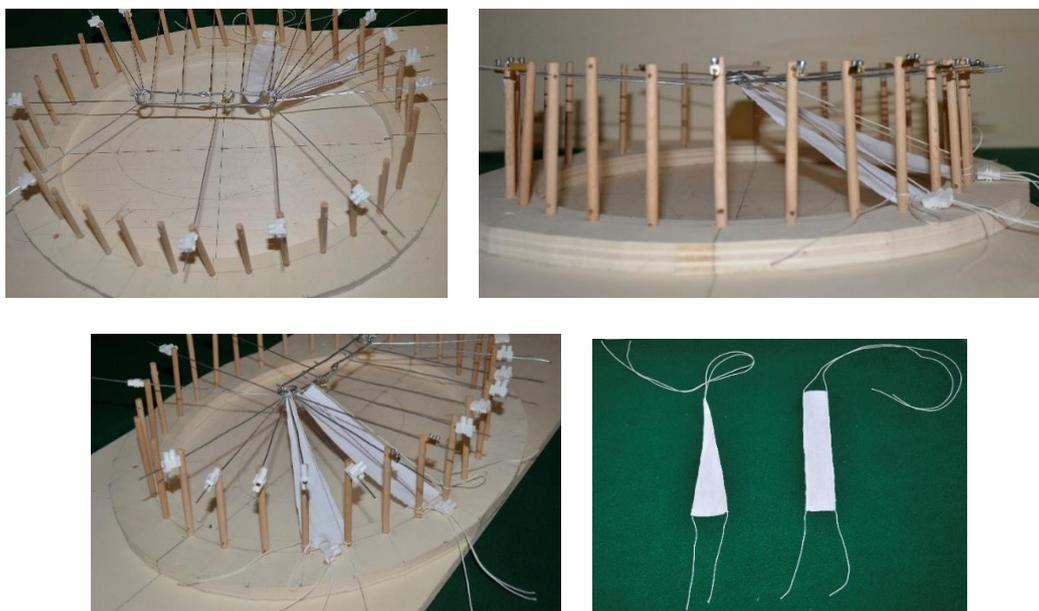


Fig. 20 Modello con un anello centrale schiacciato che va da fuoco a fuoco e i due tipi di vela

Le funi di sostegno si dispongono secondo raggi sulle due zone laterali, assimilabili a semicerchi e sono invece parallele nella parte centrale. In questo caso le tele possono essere sostenute da anelli che scorrono su funi parallele che partono dal sostegno centrale ed arrivano alla base dei pali, in modo del tutto simile a quanto avviene nelle imbarcazioni. Nelle zone “circolari” le vele avranno forma triangolare e saranno guidate su anelli di spina e sostenuti lateralmente da altre funi disposte come le altre. In questo caso occorrono solo due tipi di vela: uno rettangolare ed uno triangolare. La parte del sostegno centrale a può a sua volta essere coperta da un telo rettangolare a tetto, che è pensabile fosse quello dipinto con la quadriga guidata dal sole come descritta da Plinio.

Si inizia a pensare a come sostenere i pali e si considera la necessità di una cerchiatura dei pali stessi che ne limiti la parte sottoposta a flessione, confinandola alla parte superiore a sbalzo Fig.21. Si iniziano a fare alcuni calcoli statici e nel frattempo si allarga la ricerca bibliografica, fino a questo punto abbastanza generica e a livello non scientifico e si comprende come l’anello centrale

comporti una sezione di notevole dimensione e quindi la necessità di stivaggio e anche di una adeguata tecnologia costruttiva. Per capire meglio i motivi che possono condizionare la scelta dell'anello centrale, si costruisce un modello semplificato in scala del Colosseo e si comprende come la soluzione dell'anello centrale di piccolo diametro sia da scartare per la grande disomogeneità delle vele, mentre quello dell'anello di grande diametro, che ricopia le dimensioni della cavea è improponibile per le dimensioni dell'anello stesso, quindi per le difficoltà costruttive e anche di alloggiamento a velarium smontato.



Fig. 21 La cerchiatura laterale dei pali, un modello in scala del Colosseo per le due soluzioni con anello centrale molto ridotto (in alto) e anello centrale delle dimensioni dell'interno della cavea (in basso)

A questo punto vanno tratte alcune conclusioni per puntare ad una soluzione che prenda in esame tutte le soluzioni reperibili in letteratura, le soluzioni verificate sui modelli, che superi la verifica statica e che impieghino le tecniche allora note. In sostanza si prendono in considerazione solo le soluzioni che si rifanno a come era stato concepito e costruito il velarium allora e da come viene descritto dai contemporanei Fig.22.

### Considerazioni e domande

Dalla lettura dell'ampia bibliografia esistente e dalla osservazione di ciò che rimane nascono spontanee alcune domande:

1. Perché quasi tutti gli studiosi che si sono cimentati nella ricostruzione hanno pensato che fossero coperte solo le gradinate e lasciata scoperta l'arena? In sostanza perché non hanno pensato che fosse coperta tutta la superficie racchiusa dall'anfiteatro?
2. Perché venivano impiegati alti pali sporgenti rispetto alla sommità dell'anfiteatro e

ancorati sulla parete esterna quando era possibile trovare saldi ancoraggi allo stesso livello della costruzione?

3. Il velarium era destinato soltanto a riparo dal sole oppure anche dalla pioggia?
4. Occorreva prevedere una zona di stoccaggio per le vele?

In merito alla domanda 1 si deve considerare che nella gradinata più interna vi erano i posti a sedere delle classi più agiate, Fig.2 e non sembra possibile pensare che ad essi fossero destinati i seggi più esposti al sole. Si deve quindi ritenere che esistesse un manto completo, o quasi, dell'anfiteatro come del resto è evidente nel citato affresco di Pompei.

Per quanto riguarda il punto 2, occorre ricordare il rilievo del Colagrossi sul "pessimo effetto" che avrebbe prodotto una copertura pendente verso il basso. Un siffatto risultato si sarebbe potuto evitare solo impostando il velarium, in corrispondenza della parete perimetrale, a quota nettamente più alta della sommità di quest'ultima. Di qui la necessità delle antenne, di lunghezza tutt'altro che moderata.

Sul punto 3, Per la questione del riparo dalla pioggia occorre considerare.:

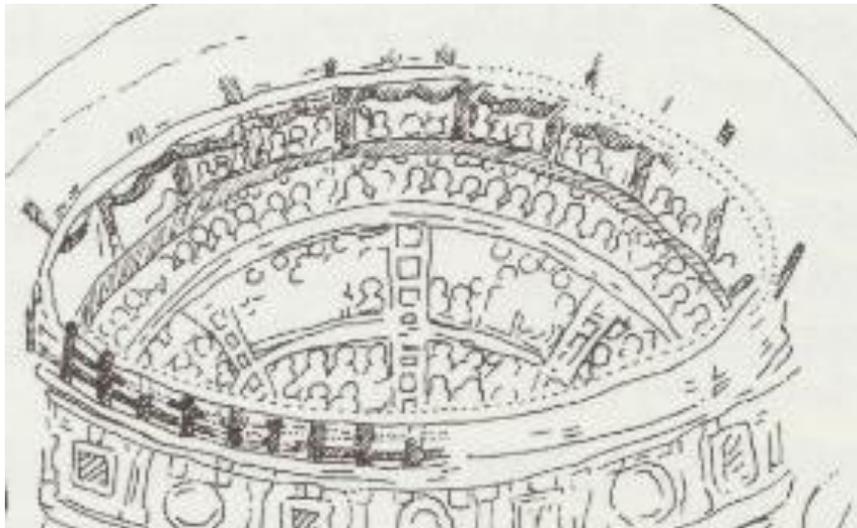


Fig. 22 La forma delle vele in alcune fonti antiche. Dall'alto: il sesterzio di Tito, la lastra di S.Elia di Nepi, l'affresco di Pompei

### *Carichi*

La natura del velo di copertura (lino) fa sì che, all'inizio della pioggia, l'acqua non scoli immediatamente, ma inizi con l'imbibire la tela. In ogni caso, anche nell'ipotesi che quest'ultima

venga impermeabilizzata, la sua superficie si presenta tutt'altro che liscia e perfettamente piana, pertanto è inevitabile la formazione di sacche e ristagni locali prima dell'inizio dello scorrimento. Appare ragionevole pensare che gli accumuli locali possano portare ad un carico d'acqua equivalente a 3-4 mm di pioggia uniforme, cioè 3-4 kg/m<sup>2</sup> di carico unitario.

Dal momento che il peso proprio della tela si aggira sui 300-400 g/m<sup>2</sup>, il carico medio per acqua di pioggia si attesta intorno a 10 volte il peso proprio della tela stessa. Come vedremo anche dall'ordine di grandezza delle sollecitazioni ottenute dai calcoli, si tratta di valori tali da porre in crisi di resistenza il velarium.

#### *Smaltimento acqua*

Lo scolo dell'acqua verso l'interno è ovviamente improponibile. Nel caso si preveda lo scolo verso l'esterno, emerge innanzi tutto il problema della pendenza.

Comunque si pensi realizzata la copertura, vista l'estensione in pianta non appare possibile realizzare pendenze superiori a poche unità per cento, valori accettabili solo per le moderne coperture con telo impermeabile continuo, con giunzioni stagne ottenute mediante termosaldatura.

Le coperture laterizie a "coppi e canali", ben più scorrevoli della tela, richiedono comunque pendenze dell'ordine del 35%. In queste condizioni, tra l'altro, sarebbe praticamente impossibile garantire una sufficiente impermeabilità del velario, costituito inevitabilmente da teli tra loro indipendenti e solo accostati o marginalmente sovrapposti per le necessità di manovra simile a quella delle vele navali.

Si riportano le immagini che si ritengono di riferimento per la forma delle vele.

Sul punto 4, nei riguardi dello stoccaggio va ricordato che anche oggi i manuali che si occupano di funi e di vele raccomandano di *"Evitare esposizioni prolungate di qualunque tipo di fune ai raggi UV poiché si creano forti degradazioni... Proteggere tutti i tipi di funi tessili dagli agenti atmosferici: lo stoccaggio deve avvenire in luoghi asciutti ed aerati privi di umidità e polveri inquinanti"* (Tecnofuni) Fig.23.

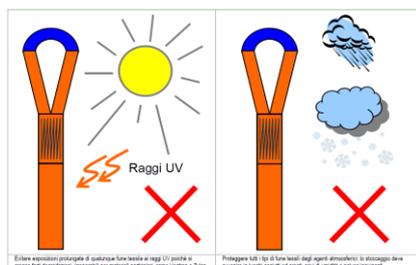


Fig. 23 Il cordame e le tele vanno protette dai raggi solari e dagli agenti atmosferici

Va ricordato anche ciò che è scritto ancora oggi nei manuali per l'impiego delle vele:

- *Le vele meno vengono lasciate esposte al sole e più durano:*
- *Non lasciate la randa esposta sul boma ma copritela o stivatela.*
- *Non lasciate il genova legato alla battagliola senza coprirlo.*
- *Protegete il genova avvolgibile con una calza o facendo applicare una fascia anti U.V.*

## **Ipotesi e modelli sulla realizzazione pratica del velarium**

### **Geometria di base**

Per meglio comprendere le considerazioni che seguono, è opportuno ricordare le caratteristiche geometriche essenziali dell'anfiteatro. Le dimensioni sono spesso arrotondate per semplicità, senza che ciò alteri gli ordini di grandezza dei parametri in gioco.

### Anfiteatro

Parete esterna: forma ellittica, assi di m 188 e 156

Altezza parete esterna, m 48

Area "coperta": m<sup>2</sup> 23.000

Perimetro esterno: m 530

### Arena

Forma ellittica, assi di m 86 e 54

Area "coperta": m<sup>2</sup> 3.367

Perimetro: m 217

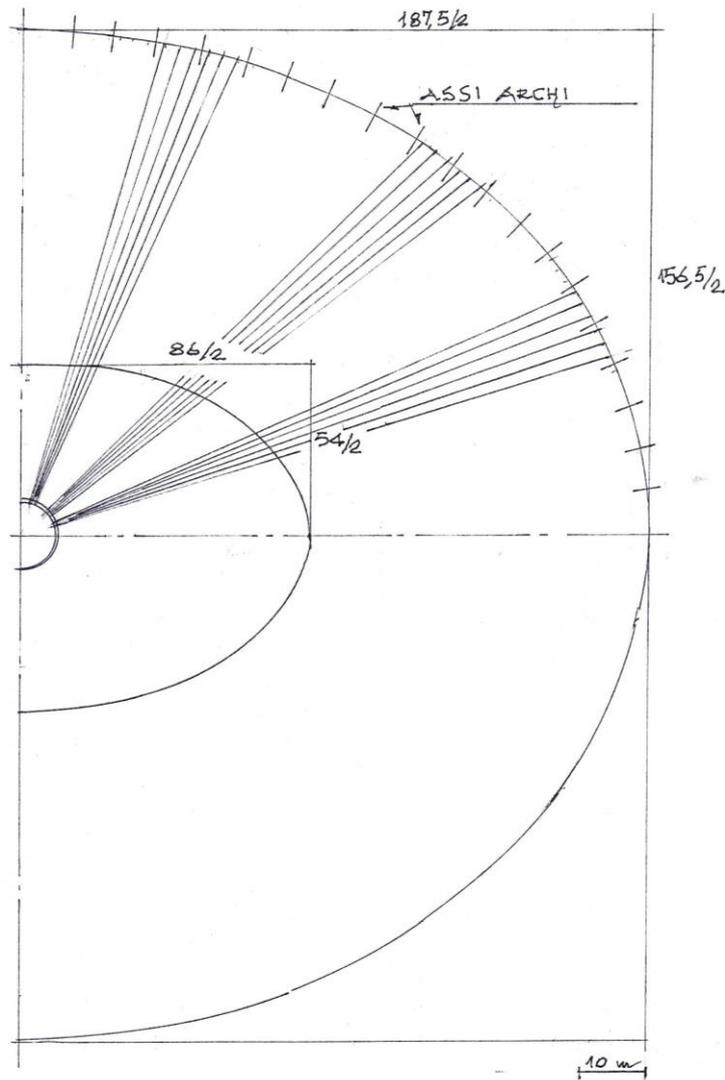


Fig. 24. - Pianta del primo Modello

La parete esterna dell'anfiteatro vede, in altezza, 3 ordini di arcate, seguiti da una parete piena.

In pianta, la arcate sono in numero di 80.

Il coronamento (sporgente verso l'esterno) della parete è dotato di fori a base rettangolare, di cm 45x55 (Chambon), in numero di 3 (in pianta) per ogni arcata, perciò in totale 240. Sulle verticali dei fori la parete reca (sull'esterno) 240 mensole che, assieme ai fori, costituiscono il complesso di ancoraggio per antenne di legno (alberi di nave) destinati a sostenere il velarium.

Visto il perimetro del Colosseo, l'interasse in pianta delle antenne risulta di

$$530/240 = \text{m } 2,21 \text{ circa.}$$

### Un primo modello

Le considerazioni fin qui svolte consentono di delineare le caratteristiche fondamentali che occorre attribuire ad un modello che rispetti le richieste essenziali. Questo primo modello ha poi suggerito l'evoluzione a quello che gli Autori del presente studio ritengono il più probabile assetto del velarium.

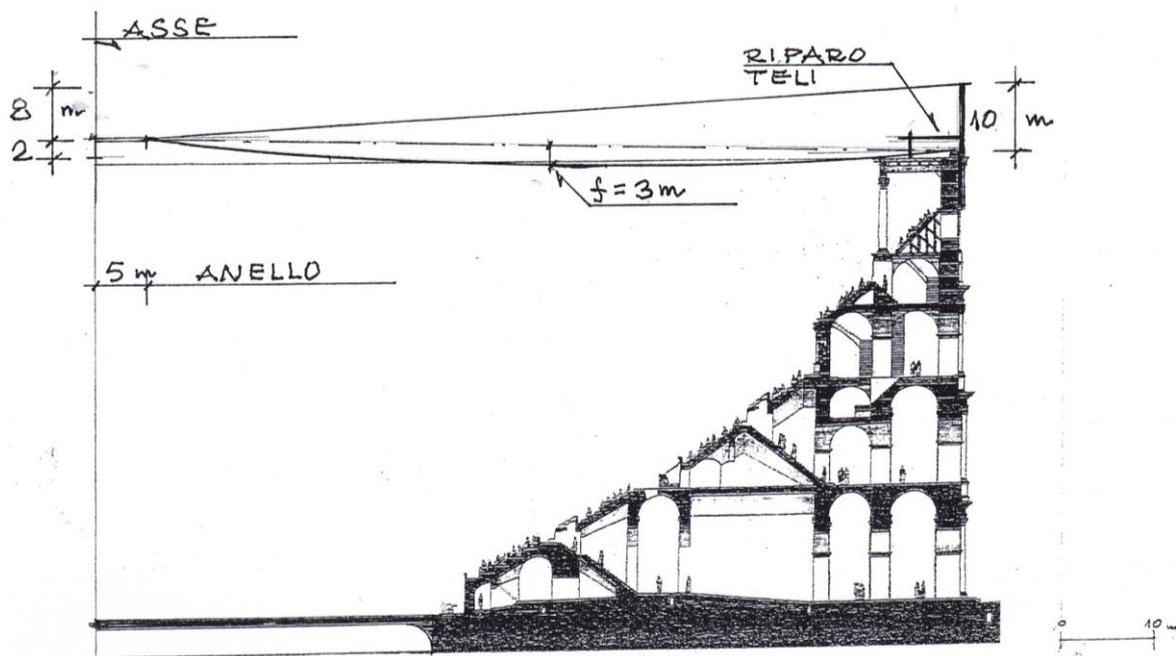


Fig. 25 Sezione del primo Modello

Nel primo modello la struttura portante, in pianta, è costituita da una raggera di funi (su due ordini) che partono dalle antenne, in numero di 240, e si attestano su un anello centrale, a forma circolare o ellittica Fig.24. Il diametro medio di quest'ultimo, dell'ordine dei 10 m, è tale da consentire un sufficiente agio nell'aggancio delle funi, e nello stesso tempo da evitare l'insolazione delle gradinate più basse, in special modo nelle ore più calde, quando il sole è vicino allo zenit.

In sezione, un primo ordine di funi, agganciate alla sommità delle antenne, sorregge un anello centrale. Un secondo ordine di funi, agganciate all'anello e fissate sul terrazzo di copertura del porticato all'ultimo piano della parete perimetrale, ha la funzione di sorreggere le vele, consentendone anche le manovre di apertura e chiusura operando sulla comoda superficie piana del terrazzo.

L'anello centrale: come si vedrà dai calcoli, poteva essere soggetto a sollecitazioni anche cospicue; si ritiene perciò che esso potesse essere realizzato con una catena, la cui tecnologia, sostanzialmente di origine navale, era certamente nota ai Romani. Tra l'altro, la catena ben si prestava al trasporto ed allo stivaggio quando il velarium veniva smontato.

Le due figure Figg.24 e 25 illustrano le linee essenziali di quanto detto.

La sezione mette bene in evidenza la necessità di assegnare, alle antenne, una congrua lunghezza. Si è già rilevata l'opportunità (Colagrossi) di evitare l'effetto sgradevole di una copertura pendente, al centro, verso il basso. D'altra parte, un dislivello troppo ridotto tra l'anello centrale e la sommità delle antenne avrebbe l'effetto di acuire l'intensità delle tensioni nelle funi dell'ordine superiore, che andavano comunque manovrate a mano, sia pure con l'ausilio di argani o verricelli.

Bisogna anche considerare la necessità di un ricovero temporaneo delle vele sul terrazzo. La struttura di base (funi) quasi certamente rimaneva montata durante la stagione estiva, mentre il telo veniva steso soltanto in occasione degli spettacoli. Ecco quindi che, sia negli intervalli tra gli spettacoli, sia in caso di piogge improvvise, le tele dovevano trovare rapido riparo nell'immediata prossimità degli argani di movimentazione. E ciò si poteva ottenere solo realizzando una struttura lignea a cassone, che poteva trovare agevolmente posto sul terrazzo la cui profondità è dell'ordine dei 10 metri.

L'altezza della struttura doveva consentire l'agevole accesso e le manovre del personale operativo, pertanto la sua altezza doveva aggirarsi tra i 2 ed i 3 metri.

A proposito del sesterzio di Tito, si è già rilevato come le antenne fossero controventate ed irrigidite dai collegamenti trasversali: a questo complesso era logicamente addossato lo spazio di ricovero e manovra dei teli. Il più alto dei collegamenti trasversali formava un vero e proprio anello compresso, certamente situato ad una quota tale da ridurre in modo significativo la luce libera di flessione delle antenne e ricondurre le loro sollecitazioni a livelli accettabili, senza necessità di saettoni irrigidenti come quelli pensati dal Canina.

Inoltre, la presenza della cintura di collegamenti trasversali garantiva una notevole solidità al complesso, evitando sollecitazioni trasversali troppo pronunciate in corrispondenza delle mensole di appoggio delle antenne.

In relazione a tutto ciò, si può ritenere che le antenne avessero, al di sopra del cornicione, una lunghezza sui 10-11 metri, con una lunghezza libera, al di sopra del ricovero delle vele, di circa 8-9 metri. Dimensioni peraltro perfettamente compatibili con la tecnologia navale dell'epoca.

Infine, qualche considerazione sul velarium vero e proprio.

Il velo era certamente diviso in teli adiacenti, della larghezza di uno, o forse due, intervalli tra funi consecutive. Il materiale era di regola lino (tela carbasina). Le manovre, come si evince anche dalla letteratura, dovevano essere rapide, valendosi della già ricordata tecnologia navale.

Un ultimo cenno, infine, ad un'altra importante funzione dell'apertura centrale.

Occorre considerare che, nelle giornate particolarmente afose e nelle ore più calde, una copertura completamente chiusa avrebbe determinato, nell'anfiteatro, un microclima intollerabile per temperatura ed umidità. L'apertura centrale, con il suo effetto camino, avrebbe consentito l'ingresso dell'aria dalle aperture perimetrali, la sua circolazione ed il suo sfogo verso l'esterno.

### **Verifica statica sul primo modello**

Nell'assenza di precise documentazioni storiche, gli studiosi hanno esercitato il loro acume nella disamina delle scarse fonti documentarie, proponendo varie ipotesi di soluzione, talvolta, e inevitabilmente, anche con l'impiego di un po' di fantasia.

Ci pare, tuttavia, che si sia in generale prestata poca attenzione ad alcuni problemi ingegneristici di base, primo fra tutti, la verifica statica delle soluzioni proposte (fa eccezione la soluzione prospettata dall'ing. Chambon che è corredata da considerazioni strutturali piuttosto dettagliate).

Naturalmente tali problemi non potevano venire considerati in via teorica all'epoca d'oro del Colosseo, ma la loro soluzione era comunque possibile attraverso l'esperienza consolidata nel tempo.

Nel proporre con questo lavoro una nuova soluzione, si ritiene indispensabile sottoporre ad una verifica statica, preliminarmente, il primo modello. La verifica, sia pure di massima, dovrà certificarne, per quanto possibile, la fattibilità.

A questo proposito, sembra manifesto agli Autori della presente memoria che non abbia senso la ricerca di soluzioni raffinate, eventualmente perseguite con i metodi della Meccanica computazionale.

All'epoca del Colosseo non esisteva la Meccanica dei solidi; le soluzioni dei problemi statici erano ottenute, con tutta evidenza, attraverso l'esperienza, peraltro fondata ed attestata attraverso cospicue realizzazioni costruttive.

Ci si limiterà, pertanto, all'uso di metodi manuali elementari, certamente senza la pretesa di soluzioni "definitive", ma nell'ottica di verificare che le soluzioni proposte conducano a regimi statici accettabili, quindi siano (e fossero allora) concretamente realizzabili.

La Fig.26 mette in luce i principali parametri statici che vengono in evidenza quando i singoli elementi vengono mutuamente svincolati.

Si noti che, dati i rapporti dimensionali in gioco, sulla carta non è possibile una rappresentazione in scala uniforme, vista la grande preponderanza delle dimensioni in pianta rispetto a quelle in alzato. Di fatto, le inclinazioni medie reali delle funi sono dell'ordine di poche unità per cento, pertanto non si commette errore sensibile se si confondono le lunghezze lungo le congiungenti degli estremi delle funi stesse con le loro proiezioni sull'orizzontale. Analogamente, i carichi distribuiti sulla lunghezza delle funi possono confondersi con gli analoghi carichi valutati sulle relative proiezioni orizzontali.

Si adottano le seguenti definizioni Fig.26:

AN = altezza totale delle antenne (rispetto al piano del terrazzo sul porticato, coincidente praticamente col coronamento della parete esterna),

AN<sub>0</sub> = differenza di quota tra anello centrale e sommità delle antenne,

AN<sub>1</sub> = AN - AN<sub>0</sub> = quota dell'anello centrale rispetto alla sommità della parete,

R<sub>1</sub> = raggio della corona di antenne,

R<sub>2</sub> = raggio dell'anello centrale,

L<sub>2</sub> = R<sub>1</sub> - R<sub>2</sub> = luce della fune reggi-anello,

L<sub>1</sub> = luce della fune reggi-telo,

f = freccia statica (verticale) della fune reggi-telo.

Si adotta uno schema di calcolo semplificato, caratterizzato dalle seguenti ipotesi:

perimetro esterno circolare, di raggio intermedio tra i due valori dei semiassi dell'ellisse:

R<sub>1</sub> = 0,5\*(188+156)/2 = 86,0 m,

anello interno, pure circolare, di raccolta delle funi provenienti dalle antenne; il suo raggio è, naturalmente, una scelta progettuale, ma per quanto detto si assume:

R<sub>2</sub> = 5,0 m.

Lo schema risolutivo delle funi è quello, elementare, tratto da O. Belluzzi, Scienza delle Costruzioni I, §116.

### ***Fune inferiore***

Problema piano. Le 3 equazioni dell'equilibrio rigido sono insufficienti alla determinazione delle 4 componenti di reazione.

Di queste, le H<sub>1A</sub> e V<sub>1A</sub> competono al supporto disposto sul terrazzo, le H<sub>1B</sub> e V<sub>1B</sub> sono offerte dalla fune superiore per il tramite dell'anello centrale.

L'ulteriore equazione può essere ottenuta sezionando nel punto di mezzo, ponendo in evidenza la sola tensione T e, una volta assegnato il valore alla freccia f, imponendo l'equilibrio dei momenti attorno ad A:

$T = q_1 * L_1^2 / (8 * f)$  essendo q<sub>1</sub> il carico distribuito (uniforme).

Si ottengono quindi le reazioni vincolari:

H<sub>1A</sub> = H<sub>1B</sub> = T

V<sub>1A</sub> = q<sub>1</sub> \* L<sub>1</sub> / 2 - H<sub>1B</sub> \* AN<sub>1</sub> / L<sub>1</sub>

V<sub>1B</sub> = q<sub>1</sub> \* L<sub>1</sub> / 2 + H<sub>1B</sub> \* AN<sub>1</sub> / L<sub>1</sub>

Per la freccia f si può assumere il valore di 3 m, che è dell'ordine del 3-4% della luce di calcolo.

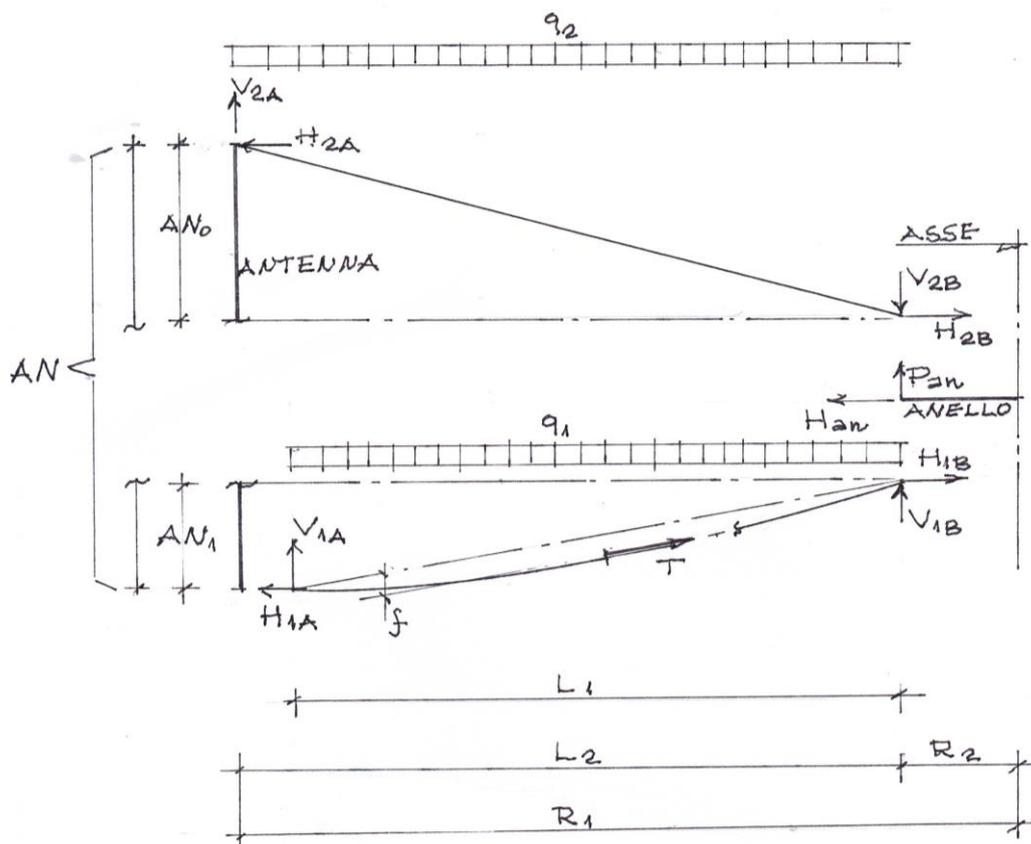


Fig. 26 - Parametri statici delle funi

### ***Fune superiore***

Risulta caricata, all'estremo B, dalla reazione della fune 1 e dalla quota parte di competenza del peso dell'anello.

Detta  $P_{an}$  tale quota di peso, il carico all'estremo della fune risulta:

$$V_{2B} = P_{an} + V_{1B}$$

e, se  $q_2$  è il suo carico distribuito, attraverso l'equilibrio generale si ottiene:

$$H_{2A} = H_{2B} = q_2 \cdot L_2^2 / (2 \cdot AN_0) + V_{2B} \cdot L_2 / AN_0$$

Infine, la tensione nella fune:

$$Z = (H_{2B}^2 + V_{2B}^2)^{1/2}$$

peraltro poco diversa da  $H_{2B}$ .

### ***Anello centrale***

L'anello risulta sollecitato dal complesso delle reazioni orizzontali  $H_{1B}$  ed  $H_{2B}$  trasmesse dalle due funi. Se si definisce  $i_p$  l'interasse, lungo l'anello, delle coppie di funi, il complesso di  $H$  equivale ad un carico radiale uniforme, di intensità:

$$q_a = (H_{2A} + H_{2B}) / i_p$$

Ne risulta, nell'anello, uno stato di trazione uniforme, pari a:

$$N = q_a \cdot R_2$$

### ***Condizioni e combinazioni di carico***

Si prendono in esame tre fasi di carico:

- *solo peso proprio delle strutture*, vale a dire funi ed anello. E' la situazione che si presenta all'atto del montaggio, con l'anello centrale inizialmente a terra, e progressivo sollevamento operando sul terrazzo a quota +48 m. Gli sforzi variano con continuità durante il

- sollevamento, raggiungendo il valore massimo a sollevamento terminato,
- *solo peso delle vele*, le cui sollecitazioni, inizialmente nulle, vanno crescendo con la stesura del velarium e raggiungono il massimo valore a copertura completamente estesa,
- *situazione finale*, ottenibile, in approssimazione, come somma delle condizioni 1 e 2.

A titolo indicativo, si riportano i risultati numerici dei calcoli ottenuti ipotizzando, per gli elementi strutturali, i seguenti dimensionamenti e relativi pesi propri.

Per la canapa, di cui si ipotizza l'impiego per le funi:

peso specifico: circa 1 daN/dm<sup>3</sup>

Peso unitario fune porta-telo, del  $\Phi = 12 \text{ mm}$ ,  $q_1 = 0,12 \text{ daN/m}$

Peso unitario fune porta-anello, del  $\Phi = 25 \text{ mm}$ ,  $q_2 = 0,55 \text{ daN/m}$

Peso unitario delle vele:

lino o canapa, peso unitario = circa 300-400- g/m<sup>2</sup>

Non ci sono certezze sulla larghezza stabilita per i vari settori di tela. Se, in generale, si considerano più interassi, alle funi laterali reggi-telo compete un mezzo interasse, a quelle intermedie un intero interasse. Nelle valutazioni che seguono si considera una fune laterale, regolando di conseguenza tutte le azioni trasmesse al resto della struttura.

Si tiene conto della possibile presenza di rinforzi di irrigidimento, attribuendo alla vela finita il peso medio di 600 g/m<sup>2</sup>, valutando poi, per ogni fune portante, una larghezza di influenza di 2 m, si ottiene il peso unitario di 1,20 daN/m per le intermedie, quindi per le funi perimetrali:

peso unitario trasmesso dalle vele  $q_3 = 0,60 \text{ daN/m}$

Da ultimo, la catena.

Ipotizzandone la realizzazione con un **tondo di acciaio del  $\Phi = 50 \text{ mm}$**  si ottiene il peso unitario

$q_a = 46,00 \text{ daN/m}$

Infine, si valutano i risultati derivanti dalle seguenti ipotesi sulla geometria generale.

Si è già detto in merito alla possibile altezza delle antenne.

Si assume perciò:

$R_1 = 86 \text{ m}$      $R_2 = 5 \text{ m}$      $AN = 10 \text{ m}$      $AN_0 = 8 \text{ m}$

Risultati più significativi in termini di tensioni:

Sforzi in daN			
	Fase 1	Fase 2	Finale
<b>Fune porta teli</b>			
<b>T =</b>	49	164	213
<b>Fune porta anello</b>			
<b>Z =</b>	459	577	1.036
<b>Anello centrale</b>			
<b>N =</b>	19.403	28.194	47.597

Se si opera con il classico metodo di verifica "alle tensioni ammissibili", è possibile riscontrare che le sollecitazioni così ottenute risultano compatibili con la resistenza dei due materiali strutturali: canapa ed acciaio (per quest'ultimo, anche nelle gradazioni certamente moderate dell'antichità):

Canapa: tensione ammissibile = 200 - 250 daN/cm<sup>2</sup>

Acciaio: tensione ammissibile = 1.200 - 1.300 daN/cm<sup>2</sup>

Si ottiene dal calcolo:

Fune reggi-telo    sezione = 1,1 cm<sup>2</sup>    tensione = 194 daN/cm<sup>2</sup>

Fune reggi-anello    sezione = 5,3 cm<sup>2</sup>    tensione = 196 daN/cm<sup>2</sup>

Catena    sezione = 2x19,6 cm<sup>2</sup>    tensione = 1.214 daN/cm<sup>2</sup>

Valori approssimati, certamente compatibili con le caratteristiche dei materiali.

### **Il modello ottimizzato e sua verifica statica**

Il primo modello aveva lo scopo fondamentale di verificare la fattibilità della soluzione, sia sotto l'aspetto della geometria generale, sia dal punto di vista dello stato di sollecitazione dei principali elementi portanti. Tuttavia, l'esame della pianta Fig.24 mette in evidenza alcuni elementi critici.

Il primo è la mancanza di perpendicolarità tra il tracciato radiale delle funi e il (la tangente locale al) perimetro, fatto che si verifica in ampie zone discoste dai due assi principali. Ne conseguono, sia problemi di carattere statico (flessione deviata delle antenne), sia difficoltà nella realizzazione e nella movimentazione dei pannelli di tela.

Il secondo elemento è specificamente di carattere statico, in particolare per il complesso delle funi. Si è già visto come le verifiche del primo schema sfruttino un modello geometrico "medio", approssimando il profilo perimetrale con una circonferenza di diametro pari alla media dei due diametri dell'ellisse. Tuttavia la realtà è abbastanza diversa: la forma ellittica implica una cospicua differenza tra le luci di calcolo **reali** massima e minima delle funi: da 73 a 89 m circa. E poiché le tensioni, in particolare nelle funi porta-telo, dipendono dal quadrato della luce, ne discendono differenze, tra i valori massimo e minimo dello stato di tensione, vicine al 50%.

Questo fatto implica, tra l'altro, difficoltà di regolazione geometrica all'atto del primo montaggio della rete di funi. Le funi che fanno capo ai tratti rettilinei risultano tra loro parallele; quelle che si attestano sui due semianelli risultano (con ottima approssimazione) perpendicolari al contorno, e con luce di calcolo sensibilmente costante, pari a circa 73 m (luce minima del primo modello).

I due tratti rettilinei del vano centrale vengono collegati anche da elementi perpendicolari, necessari per raccogliere le tensioni delle funi, tra loro parallele, della zona centrale.

Viene pertanto ripetuta la verifica, con i dati di partenza del precedente punto ma con le variazioni di luci derivanti dal nuovo schema. In previsione di una sensibile diminuzione delle sollecitazioni, si adotta, per la catena di contorno dell'apertura centrale, il dimensionamento  $\Phi = 45 \text{ mm}$  ottenendo il peso unitario dell'anello:  $q_a = 35,00 \text{ daN/m}$ .

La riduzione del peso dell'anello implica anche un minor carico verticale all'estremità della fune reggi-anello, contribuendo, insieme alla riduzione delle luci di calcolo, alla diminuzione generale dello stato di sollecitazione.

Si vuole qui porre in evidenza anche la chiarezza di funzionamento statico della catena centrale per la quale, sotto l'effetto del carico uniforme proveniente dalle funi, i due semianelli risultano soggetti a sforzo assiale **N** sensibilmente costante. Gli sforzi che, per ciascuno di essi, competono alle due estremità (sul diametro verticale) vengono raccolti dai due rami di catena orizzontali, ed equilibrati con gli omologhi sforzi provenienti dall'altro semianello. I traversini, in figura verticali, provvedono all'equilibrio degli sforzi provenienti dalle funi del tratto centrale, lasciando i rami orizzontali soggetti solo agli sforzi autoequilibrati provenienti dai due semianelli.

Infine, si ripete la verifica di calcolo con gli stessi schemi statici del caso precedente. I risultati più significativi sono sintetizzati nella tabella che segue.

Sforzi in daN			
	Fase 1	Fase 2	Finale
<b>Fune porta teli</b>			
<b>T =</b>	24	121	145
<b>Fune porta anello</b>			
<b>Z =</b>	298	427	784
<b>Anello centrale</b>			
<b>N =</b>	12.280	20.816	33.096

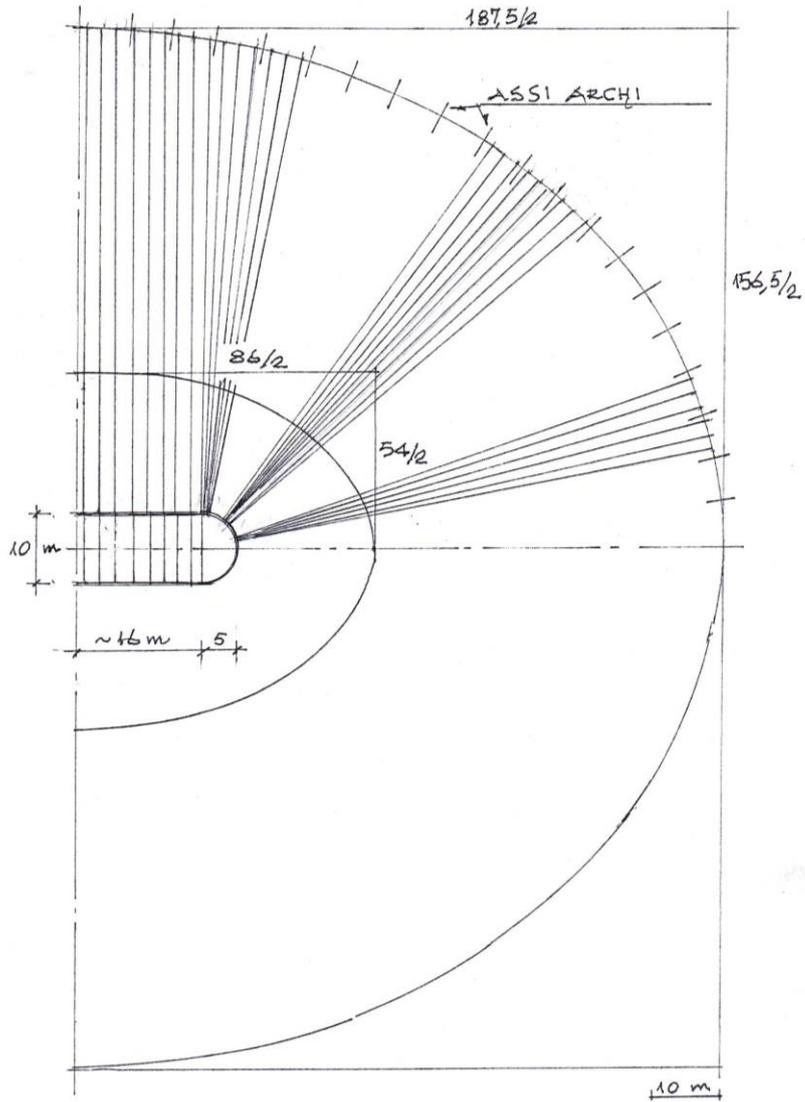


Fig. 27 – Pianta del modello ottimizzato

Come prevedibile, i valori delle tensioni vengono sensibilmente ridotti rispetto al caso del primo modello.

Se poi si opera, nuovamente, con il metodo di verifica "alle tensioni ammissibili" si ottiene:

Fune reggi-telo	sezione = 1,1 cm <sup>2</sup>	tensione = 132 daN/cm <sup>2</sup>
Fune reggi-anello	sezione = 5,3 cm <sup>2</sup>	tensione = 148 daN/cm <sup>2</sup>
Catena	sezione = 2x15,9 cm <sup>2</sup>	tensione = 1.040 daN/cm <sup>2</sup>

Queste sollecitazioni, salvo modeste variazioni, valgono anche per i due tratti centrali, a cui competono le stesse luci di calcolo delle zone laterali a ventaglio.

Emerge, perciò, il sostanziale miglioramento, rispetto al primo modello, sia in termini di regolarità geometrica, sia per quanto riguarda le sollecitazioni del complesso funi-catena centrale.

### Il modello costruttivo

Il precedente modello staticamente ottimizzato suggerisce, infine, l'evoluzione alla soluzione costruttiva che viene ritenuta più vicina a quanto realizzato dai costruttori del velarium Fig. 28 .

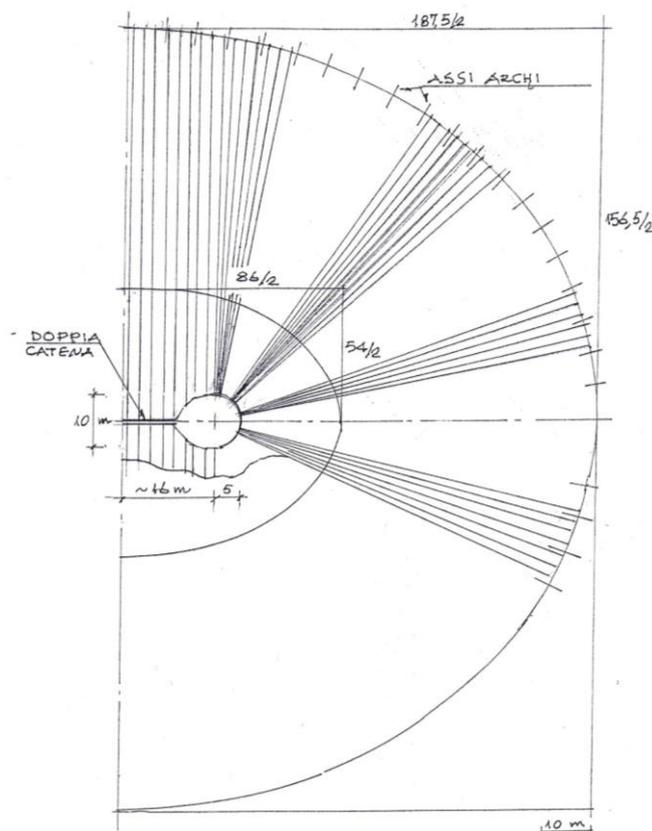


Fig. 28 Le due catene raggruppate al centro

Restano invariate, per il complesso delle funi e della catena centrale, tutte le caratteristiche altimetriche già individuate, in linea di principio, nel primo modello. Per quanto riguarda la pianta, restano immutate le due zone laterali con distribuzione delle funi a ventaglio. Nella zona centrale, i due rami di catena paralleli al diametro massimo vengono avvicinati sino ad accostarli. Vengono raccordati i tratti adiacenti ai semianelli, ed i due tratti paralleli vengono collegati in corrispondenza delle sezioni terminali di unione ai raccordi.

In questo modo, tra l'altro, cade la necessità dei traversini di collegamento tra i due rami orizzontali.

Per ragioni di equilibrio generale, ciascuno di questi due rami risulta soggetto al medesimo sforzo che si verifica nella precedente soluzione ottimizzata, pertanto la costruzione può essere realizzata con la stessa catena dei due semianelli.

Va da sé che la doppia catena centrale potrebbe essere sostituita da un unico elemento, che dovrebbe però avere sezione doppia. Questa variante porterebbe tuttavia qualche complicazione costruttiva in corrispondenza del collegamento di detto elemento con i due raccordi.

Risulta molto più semplice la realizzazione con un unico elemento di catena chiuso su se stesso, che, all'atto del montaggio, è possibile sagomare a terra con l'unico onere dei due collegamenti trasversali al termine dei tratti rettilinei.

Sotto l'aspetto statico, si può ragionare separatamente per le due parti laterali a ventaglio e quella parallela centrale: per quanto concerne le due parti laterali, il loro schema geometrico-statico resta identico a quello del modello ottimizzato, e comunque la catena centrale assicura la trasmissione mutua degli sforzi identicamente a quanto assicurano, in quest'ultimo, i due rami paralleli all'asse maggiore.

Pertanto, il loro stato generale di sollecitazione ricalca quello già definito al paragrafo precedente.

Per la regione centrale, va notato, innanzi tutto, che la doppia catena resta sottoposta solo a sforzo di trazione, pari, per quanto ricordato più volte, allo sforzo nel semianello delle parti a ventaglio (nel caso specifico, 33.096 daN) per ciascuno dei rami accostati.

Per quanto concerne le funi, la loro luce di calcolo aumenta da 73 a 78 m, cioè circa il 7 %; le sollecitazioni che dipendono dal quadrato della luce subiscono, perciò, un modesto aumento di circa il 14%. Senza contare che il peso della catena, che entra come carico verticale, viene in buona parte sostenuto attraverso l'elevato sforzo di trazione alla quale essa è sottoposta. Né la doppia catena è soggetta ad altre azioni, in quanto le forze orizzontali che le funi parallele si scambiano si equilibrano mutuamente per motivi di simmetria.

A conclusione di queste considerazioni di carattere statico, si ricorda, ancora una volta, che i valori numerici ottenuti non vanno assunti come assoluti, in quanto essi dipendono dalla scelta dei parametri geometrici di base (altezza delle antenne, ribassamento della catena centrale, raggio dei semianelli).

Sembra tuttavia, ed era questo lo scopo che ci si proponeva con le analisi statiche, di aver mostrato la realizzabilità concreta della soluzione qui individuata.

## **Soluzione costruttiva**

La soluzione consiste Fig.29, come già detto, nel realizzare l'elemento centrale con una catena metallica, del tipo di quelle impiegate per la chiusura dei porti. La catena è sostenuta in asse dalle funi disposte in senso radiale sulle le parti laterali. Essa viene montata per prima, in seguito si stendono da palo a palo, diametralmente opposti, altre funi che sostengono, passandole sotto, la catena centrale già sollevata.

Alla catena centrale fanno capo, a coppia, funi di sostegno delle vele le quali scorrono con anelli su di esse. La continuità dell'ombra viene garantita con una piccola sovrapposizione delle vele stesse. Per le vele laterali invece, essendo di forma triangolare/trapezia, lo scorrimento avviene con anelli su di una sola fune con la solita piccola sovrapposizione che impone una sequenza del dispiegamento. Questa azione avviene con una semplice fune, posta a cavallo della catena o su anelli, che tira la parte terminale della vela, dotata di un irrigidimento. La vela viene raccolta a festoni agendo sull'altro capo della fune.

La tesa delle funi di sostegno, che scorrono su pulegge dall'alto dei pali, avviene con verricelli e argani con personale dal pavimento del porticato. Tutti i pali sono collegati fra loro da fasce di collegamento. Queste fasce sostengono i pali scaricando le spinte laterali. I pali sono quindi soggetti a sforzo assiale e a flessione per quanto riguarda l'altezza lasciata libera. Una delle fasce di collegamento fa anche da sostegno di un tavolato, che appoggia dal lato cavea su colonnine e travi.

Il vano generato al di sotto del tavolato serve da riparo per le vele quando vengono ritirate e anche per le funi quando tutta la struttura viene smontata, in esso vengono azionate tutte le manovre per mettere in tiro le funi di sostegno e anche l'azionamento per stendere le vele.

Su questo tavolato non si hanno funi o altro e può servire per aumentare ulteriormente, ma in modo limitato, la capienza dell'anfiteatro dato che a questi spettatori viene preclusa la vista dell'arena a velarium spiegato. La soluzione con le catene centrali separate e che possono sostenere una vela centrale, che potrebbe essere quella decorata con la quadriga imperiale, è riportata in Fig.30.

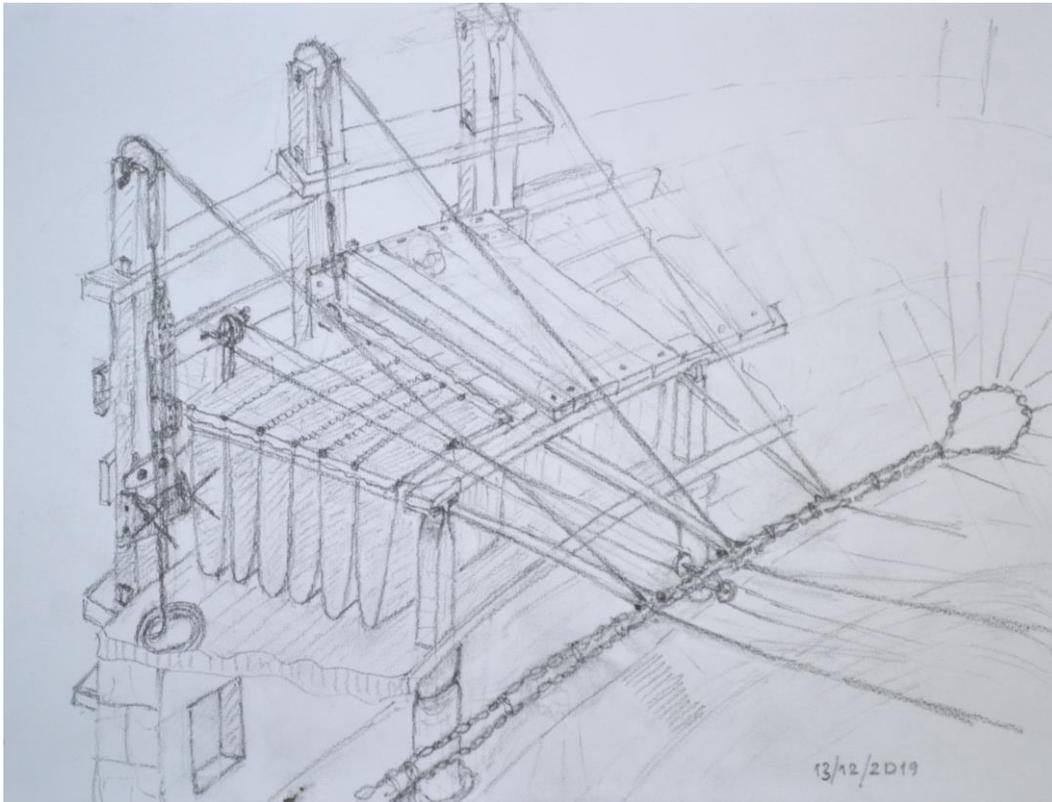


Fig. 29 Le funi di sostegno della doppia catena centrale dalla quale scendono le funi sulle quali scorrono gli anelli della tela.

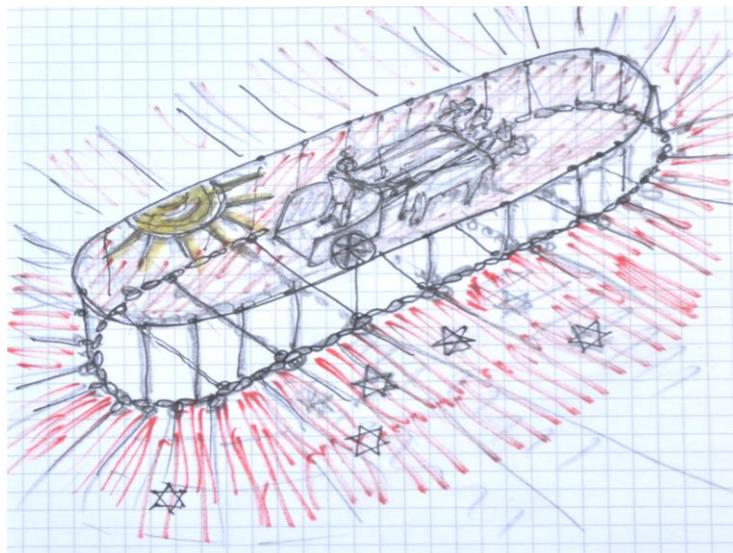


Fig. 30 Le catene centrali distanziate e collegate ad una vela

## Dettagli costruttivi

### Catena

La catena che si pensa fosse posta fra i due fuochi dell'ellisse che approssima il contorno esterno del Colosseo poteva anch'essa cadere sotto la tecnologia navale. Erano infatti usate anche allora le catene di ferro di elevata purezza per chiudere i porti. E' nota la lunghissima catena di 5 km che chiudeva il Corno d'oro a Costantinopoli della cui esistenza si hanno notizie dal 717. Ciò che rimane della catena, poche centinaia di metri, ancora si può vedere in vari musei di Istanbul (Genç 2009) Fig. 31. Una catena simile era posta anche per la chiusura del porto di Pisa. Di questa ci sono rimaste testimonianze dei genovesi che, dietro consiglio di un fabbro, la aprirono riscaldandola e occuparono il porto e se la portarono a pezzi a Genova per ricordo dell'impresa. Questa catena oltre che nelle cronache del tempo, viene ricordata a Genova in un altorilievo del 1290 Fig. 32. La forma di queste due catene è molto simile, oggi la confronteremmo con il simbolo matematico dell'infinito: i due occhi sono collegati da una parte centrale nella quale il tondo che forma gli anelli viene a contatto, come si vede nella Fig.33.



Fig. 31 Maglie della catena che chiudeva il Corno d'Oro di Costantinopoli: tondo di circa 50 mm e lunghezza di circa 500-600 con circa 200 mm di larghezza



Fig. 32 Genova, Bassorilievo di Portoria del 1290, museo di Sant'Agostino. E parti della catena di chiusura del porto di Pisa, con pochi anelli a forma di  $\infty$ , nella tomba di Bartolomeo Medici, Camposanto di Pisa

Studi sulla catena di Istanbul hanno portato a considerare inizialmente fosse stata fusa e poi martellata, più precise ricerche ai raggi X hanno messo in evidenza una tecnologia più convenzionale che consisteva nel partire da tondo, piegarlo a caldo e poi unire i lembi per bollitura, ovviamente dopo varie calde. Analisi chimiche hanno permesso di considerare che il materiale fosse ferro pochissimo legato, una simile composizione di ferro resistente alle ossidazioni e in particolare anche all'immersione in mare è stata trovata nell'ancora romana riaffiorata a Nemi (Ucelli). In questo studio viene specificato il *sistema di fabbricazione usato*



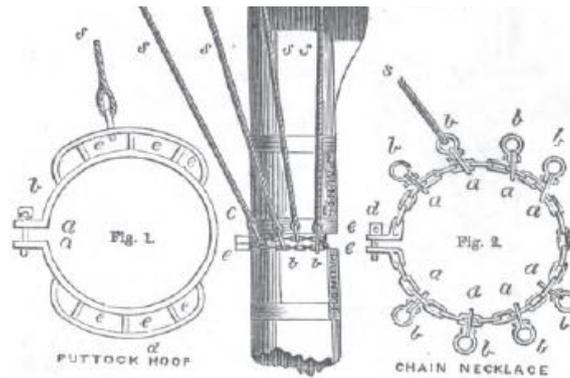


Fig. 36 Forme di attacco dei controventi all'albero di una nave. Anelli di questo tipo potrebbero essere stati usati per fissare le funi alla catena.

### ***Puleggia di rimando del tiro delle funi***

Sulla sommità dei pali sembra essere lecito pensare ci fosse una puleggia di rimando per il tiro delle funi. Per meglio illustrare l'accoppiamento si riporta anche una particolare fotografia scattata dal noto fotografo Mario Dondero per ricordare Zizilone come simbolo dell'audacia e della solitudine di un mitico personaggio paesano Fig. 37 a sinistra.

Ancorato alla estremità dei pali ci sarebbe potuto essere anche un bozzello del tipo rappresentato nel noto bassorilievo detto dei Torlonia, come quello ritrovato a Comacchio (Berti). In Fig. 37 a destra è riportata una ricostruzione completa delle manovre. In questo caso si evita lo scasso nel palo per il passaggio della fune. Si riporta la descrizione di questo bozzello: 284 Bozzello h.21; la 13,9; sp. 3,3 *Legno noce rocchetto di quercia. Anello di forma ovoidale composto di due parti speculari sagomate da gola corrente all'intorno ad eccezione che sul lato superiore appiattito, a cm 3,5 dal quale sono due fori (fi 1,8) passanti paralleli fra loro. Due cavità sono ricavate sulla faccia interna dei due elementi a metà della lunghezza totale, per il perfetto inserimento ad incastro di un terzo elemento, costituito da un rocchetto a terminazioni laterali sagomate anch'esse a forma di cilindro. Sui fianchi, presso l'estremità inferiore sono altri due fori passanti in uno dei quali è ancora incastrato parte di un elemento di raccordo in legno con capocchia quadrangolare.*

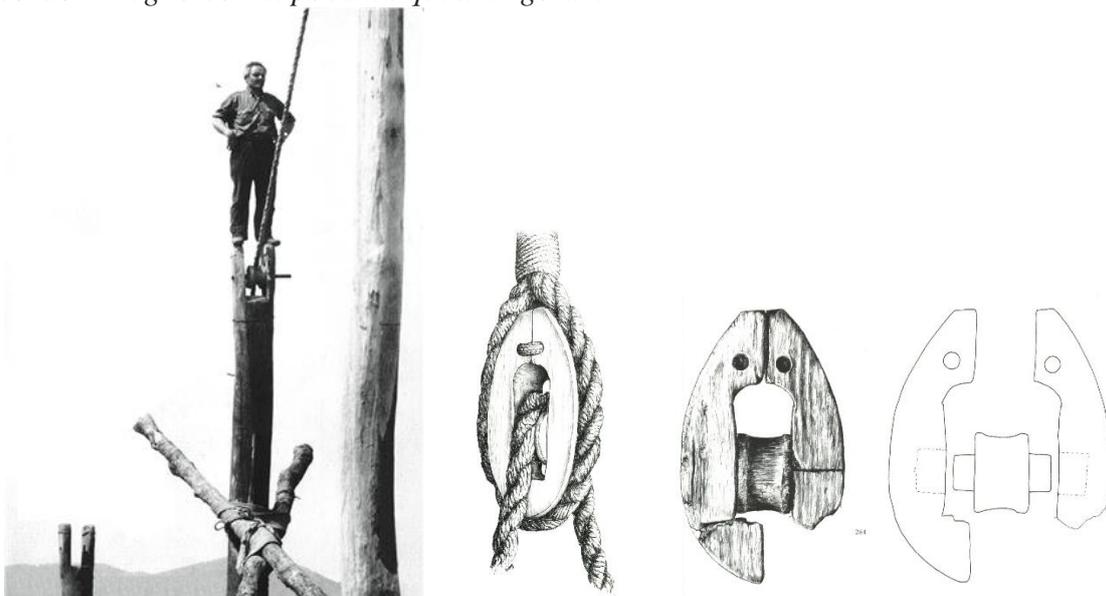


Fig 37 Le due possibili soluzioni: la puleggia o un bozzello sulla sommità dei pali (Berti)

Un bozzello con puleggia di grande diametro è stato trovato su una delle navi di Nemi Fig.37. La puleggia viene descritta foderata di ferro e del diametro di 50 cm, del tutto adatta ad ospitare una fune con diametro inferiore a  $25/10 \text{ cm} = 25 \text{ mm}$ . Le due soluzioni costruttive sono riportate in Fig.39.

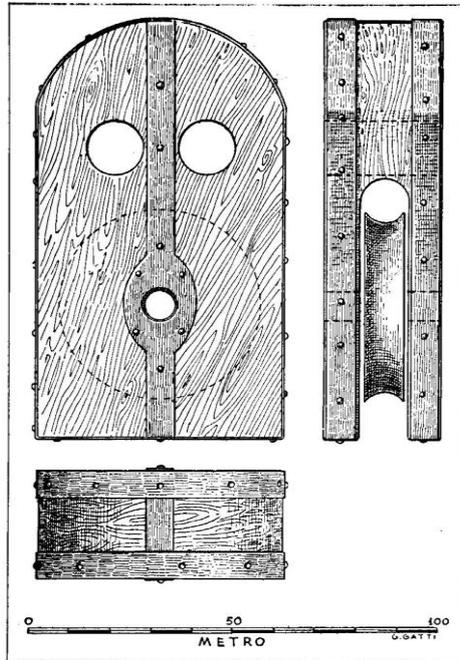


Fig. 38 Il bozzello rinvenuto a Nemi (Ucelli)

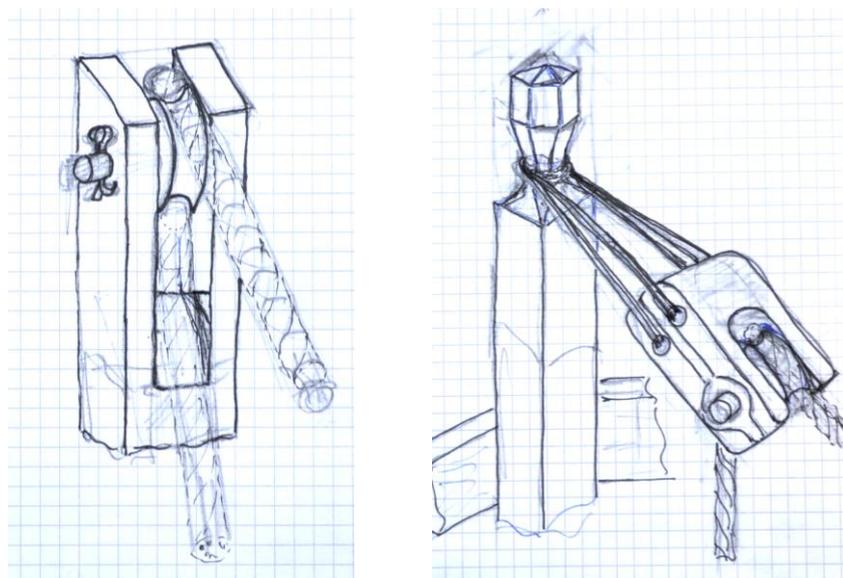


Fig. 39 Le due soluzioni costruttive

### ***Tessuto della vela***

Le tele impiegate vengono dette essere di carbasina che è un tessuto di lino, chiamato nel 700-800, olona o olonetta (come le vele di lino della nave Vespucci) di spessore 2 o 4 mm. Sono tele particolarmente sottili e resistenti. Le tele attuali *standard* sono larghe 61 pollici cioè 1,54

metri. Questa misura è molto vicina al "passus" che era di 1,48 metri. Si potrebbe quindi pensare che con una striscia di una "pertica" uguale a due "passus", cioè 2,96 metri, si potesse coprire l'intervallo fra due funi, cucendo fra loro due teli. In questo caso si ha la possibilità di far sporgere la tela per una sovrapposizione fra due vele successive. Per quanto riguarda il peso delle tele di lino per vele, che venivano chiamate, nel 700-800, olona o olonetta si può fare riferimento a misure espresse in once americane calcolate su di un tessuto di 28 pollici per 36, che con le nostre unità di misura, approssimando può valutarsi sui 300-400 g/m<sup>2</sup>. Cozzo fa riferimento a una tela di canapa "oggi (1931) in uso per la velatura delle navi e che presumibilmente ha la consistenza delle antiche vele".

### ***Tipo di funi***

Le funi erano costruite con fibre di canapa, cotone, sparto e bisso. La forma delle funi non era molto diversa da quella oggi impiegata con trefoli ritorti. In Fig.40 è riportata l'immagine dei frammenti di fune ritrovati negli scavi della nave romana di Comacchio (Berti) dove vengono così descritti:

(278) Frammento di cima lu. max 25  $\Phi$  8 Fibra vegetale. Tre capi ritorti del  $\Phi$  di 4 cm

(279) Frammento di cima lu. max 24  $\Phi$  5,4 Fibra vegetale Tre capi ritorti del  $\Phi$  di cm 2,5.

In particolare per il sostegno di tutto il velario si pensa venissero impiegate *gomene* o *gomenette* che vengono definite (Imperato) Gomene: *cavo torticcio di canapa, che era usato dai velieri come ormeggio dell'ancora di speranza. Oggidì le navi, quando l'hanno, la usano per ormeggio poppiero nei cattivi tempi e talvolta per rimorchio, segnatamente in caso d'arrenamento. La gomena è lunga circa 200 m e la sua circonferenza è tante volte 4 cm quanti metri misura il baglio maestro.*

Gomenetta –*Cavo torticcio di canapa o di manilla, lungo quanto la gomena, ma di circonferenza minore. Si usa per ormeggio poppiero e laterale e per rimorchio.*

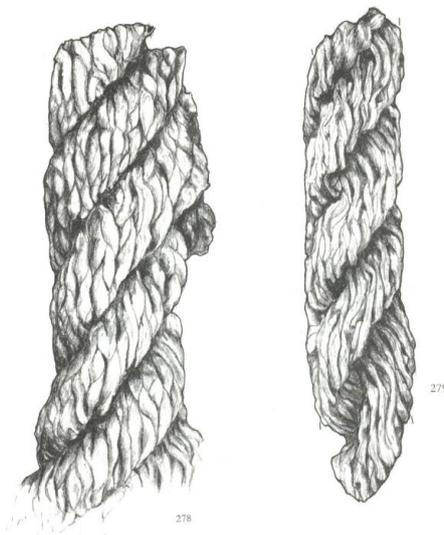


Fig. 40 Frammenti di cima dalla nave romana di Comacchio (278) avente  $\Phi$  80 mm e (279) di  $\Phi$  54 mm

*... Da notare che i cavi torticci si fanno di una lunghezza non superiore ai 200 metri. Per cavi più lunghi non si potrebbe ottenere una torsione uniforme.*

Numerose funi sono state ritrovate sulle navi fatte riaffiorare a Nemi (Ucelli), queste funi alcune del diametro di 40 mm, furono sottoposte a numerose prove dalle quali si dedusse in particolare che il filato di canapa era di qualità superiore a quello filato nel 1930. Sembra quindi lecito ritenere che i carichi delle funi attuali Fig.41 siano uguali se non inferiori e quelle delle funi di allora.

Diam. mm.	Peso per metro kg.	Carico di rottura kg.	Diam. mm.	Peso per metro kg.	Carico di rottura kg.
10	0.090	630	52	2.335	13800
12	0.120	900	54	2.520	14880
14	0.170	1230	56	2.705	15990
16	0.220	1600	58	2.905	17160
18	0.280	2030	60	3.180	18400
20	0.345	2510	62	3.320	19600
22	0.420	2850	64	3.540	20900
24	0.495	3370	66	3.760	22200
26	0.580	3970	68	3.990	23590
28	0.675	4600	70	4.235	25000
30	0.770	5250	72	4.480	25700
32	0.925	5880	74	4.730	26700
34	1.055	6370	76	4.990	27500
36	1.120	7140	78	5.260	28650
38	1.250	7945	80	5.530	30150
40	1.385	8820	82	5.810	31650
42	1.525	9695	84	6.095	33200
44	1.670	10640	86	6.380	34800
46	1.825	11620	88	6.690	36.450
48	1.990	12150	90	6.995	38150
50	2.160	12900	100	8.635	47100

Peso: corde di cotone, circa uguale; canapa incatramata, 10 % in più; manilla e sisal 5-10 % in meno; cocco, circa 50 % in meno.

Carico di rottura: canapa  $8 \div 12 \text{ kg/mm}^2$ ; canapa bianca e manilla  $5 \div 10$ ; cotone  $5 \div 6,5$ ; cocco  $1,5 \div 2$ .

Carico ammissibile: corrisponde a 1/8 del carico di rottura.

Generalmente la resistenza per  $\text{mm}^2$  decresce con l'aumentare del diametro (o lato minore della sezione della corda) e con la catramatura.

Fig. 41 Peso e resistenza delle funi di canapa, cocco e manilla (Colombo)

### *Argano Bozzelli Tamburo*

E' verosimile possa essere stato impiegato per il tiro delle funi principali un paranco del tipo di quello scolpito sulla tomba degli Haterii, fig.42 a sinistra, con il bozzello fisso in basso e quello mobile in alto, collegato alla fune di sostegno con un accoppiamento che poteva essere fatto scorrere (corridore). Questo tipo di taglia con otto funi di collegamento e due funi traenti veniva impiegato anche a bordo di navi romane di quel periodo, come è stato trovato nel porto di Vendres e riportato da Whiteright (Whiteright 2008), Fig.42 a destra. Le due funi traenti potevano poi essere avvolte su di un tamburo manovrato con più bracci.

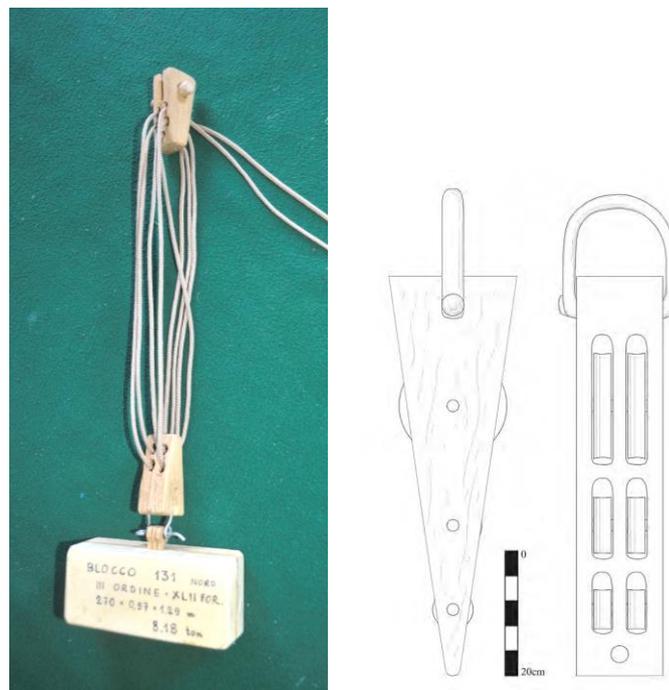


Fig. 42 Ricostruzioni: l'argano degli Haterii (Molari) e bozzello ritrovato nel porto di Vendres Whiteright (Whiteright 2008).

### **Anelli di sostegno della vela**

Gli anelli di sostegno della vela (*fair rings*), di varie forme, come nelle navi del periodo ritrovate nel Mar Rosso nel porto di Myos Hormos, potevano scorrere sulle funi ed essere cuciti alle vele tramite un paio di fori come riportato in Fig.43 (Whiteright 2008)

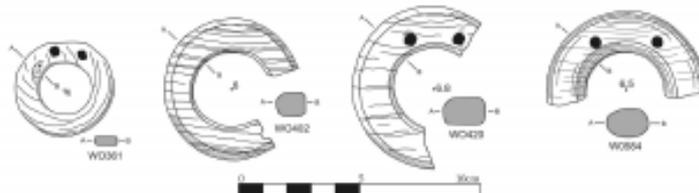


Fig. 43 Alcune forme di anelli di sostegno della vela del periodo romano, da scavi sul Mar Rosso (Whiteright 2008)

### **Conclusioni**

Tutta la superficie viene coperta senza lasciare scoperta la cavea e riparando così anche le prime file dove sedevano le persone di maggiore riguardo, come i senatori

-la copertura viene suddivisa in quattro parti: due all'estremità dell'asse maggiore dell'ellisse e due laterali a questo.

-si usa una catena metallica sull'asse maggiore che nei fuochi assume la forma di due semianelli raccordati alla spina centrale, - si può stendere una catena che nella parte centrale raddoppia in modo da avere anelli più piccoli e sui quali possono essere inseriti scorrimenti fissi per avvolgere le funi su di una puleggia fissa senza annodarle. Un aspetto negativo, ma anche di conferma, di questa soluzione è che potrebbe essere stata responsabile dei tre grandi incendi dovuti ai fulmini descritti dagli storici Romani.

-viene considerata la possibilità di garantire un riparo alla tela quando viene ritirata sul solaio del portico viene costruito a ridosso del muro esterno un tavolato che serve per l'alloggiamento della tela e per piano di lavoro per gli addetti al velarium.

-viene considerata una cintura che collega tutti i 240 pali. Questa cintura separa la parte delle funi di sostegno della catena da quella alla quale fanno capo le funi di sostegno delle vele,

- il montaggio è semplice e richiede solo una parziale contemporaneità della tesa delle funi sistemate in senso radiale, le altre possono essere posate successivamente,

-sono necessarie solo due forme di teli: una per la parte centrale ed una per le parti con funi radiali  
In sostanza estrema semplicità ed uso di tecnologia navale nota, sia per le vele, sia per le catene.

**Bibliografia** essenziale per questo lavoro (in ordine alfabetico) -per una bibliografia più ampia sul Velarium consultare i due volumi del Graefe-

- Alvino Francesco, *Anfiteatro Campano restaurato ed illustrato dall'arch. F.A.*, Stamperia e Cartaria del Fibreno, Napoli, 1833

- Anderson Roger Charles, *A Treatise on Rigging*, Society for Nautical research, 1921

- Berti Fede (a cura di) Gruppo Ferruzzi, *Fortuna Maris - La nave romana di Comacchio*, Nuova Alfa ed. Bologna 1980

- Belluzzi Odone, *Scienza delle Costruzioni*, vol. I, Zanichelli, Bologna, 1956

- Bona Mario (editor) Isnardi F.A., Straneo S.L., *Manuale di tecnologia tessile*. Zanichelli, Bologna, 1991

- Borgnis Giuseppe Antonio, *Traité Elementaire de Construction*, .... pag. 492

- Breton Ernest, *Quelle fut la disposition des theatres chez le Grecs e chez les Romains e quelles differences existerent entre les edificies chez les deux peuples*, L'investigateur, Journal de L'istitute

- Historique Tome II, II serie 1842 Paris, L'administration de l'Institut Historique. Pagg. 45-54 – Velarium pag. 48
- Canina Luigi, *L'architettura Romana Descritta Ed Illustrata*, Parte II, Roma, Canina, 1840 pagg.375- ...
  - Casson Lionel, *Ships and Seamanship in the Ancient World*, Princeton University press, Princeton 1971
  - Chambon René, *Renatus Chambonus de Cochemerlix*,
  - Colagrossi P., *L'Anfiteatro Flavio*, Libreria Editrice, Firenze, 1913
  - Cozzo Giuseppe, *Il Velario negli Antichi Edifici Anfiteatrali*, Atti del II Cong. Naz. di studi Romani, pagg. 196-204 + Tav, Cremonese Ed, 1931
  - Crescenzo Bartolomeo, *Della Nautica Mediterranea*, Bonfardino, Roma, 1607
  - Desgodetz Antoine, *Les Edifices Antiques de Rome*, V.B. Coignard, Paris, 1682
  - Durm Josef, *Handbuck der Architecktur, vol II, Die Baukunst der Romer*, A. Kroner, Stuttgart 1905
  - Fontana Carlo, *L'anfiteatro flavio descritto e delineato*, Vaillant, The Hague 1725
  - Frazzoni Luciano, *Il Colosseo - Biografia di un Capolavoro*, Archeo Monografie n.13 giugno 2016
  - Friedlaender Ludwig Henrich, *Revival: Roman Life and Manners under the Early Empire* (1913), Routlegers Revival
  - Genç Uğur, *Haliç Zinciri*, Askery Müze ve Kültür Sitesi Komutanlığı, 2009
  - Genç Uğur, *Haliç Zinciri Problemi*, T.C. Marmara Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü Türk Sanati, İstanbul 2009
  - Giovenale G.B, *Erunt Vela*, Atti del II Cong.Naz. di studi Romani, pagg181-195 + Tav, Cremonese Ed, 1931
  - Goldman Norma, *Reconstruction the Roman Colosseum Awning*, Archeology vol. 35 n.2, 1982, pagg. 57-65
  - Golvin J.C., *L' Amphitheatre Romain. Essai sur la théorisation de sa forme e de ses fonctions e rols*, Paris, 1988.
  - Graefe Rainer, *Vela Erunt: Die Zeltdaecher der Roemischen Theater*, Philipp von Zabern, Mainz 1979
  - Guglielmotti Alberto, *Vocabolario marino e militare*, Voghera Carlo, Roma, 1889
  - Imperato Fortunato, *Arte Navale I. Attrezzatura delle navi e manovra delle imbarcazioni*, Hoepli ed. Milano, 1921
  - Lucangeli Carlo Romano/ Dalbono Paolo, *Il Colosseo di Roma della grandezza di palmi 2440 di circonferenza, ridotto alla circonferenza di palmi 40 49/60 misura lineare dall'uno a sessanta opera mirabile*, Ed. II Roma Salviucci, 1845
  - Maffei Scipione, *Verona illustrata*, Cap. XIV *Degli anfiteatri* pagg. 176-180, ED. Vallarsi Remo, Verona, 1732
  - Modena Aldo Neppi, *Gli edifici teatrali Greci e Romani*, Olschki, Firenze, 1951
  - Molari Pier Gabriele, *La gru degli Haterii*, VII Convegno di Storia dell'Ingegneria, AISI, Ed. Cuzzolin, Napoli, 2018
  - Molari Pier Gabriele, *Una ricostruzione funzionale della gru degli Haterii*, Gli Annali Vaticani, in press, - Città del Vaticano, 2019
  - Montilla R. B., *The Awnings of Roman Theatres and Amphitheatres*, Theatre Survey 10(01):75 - 88 · May 1969
  - Nibby Antonio, *Del foro romano, della via sacra, dell'anfiteatro flavio*, Poggioli, Roma, 1819
  - Pearson John, *Arena*, McGraw-Hill, New York, 1973
  - Pelet Auguste, *Des Amphithéatres antiques et surtout de celui de Capoue*, Mémoires de l'Académie royal du Gard Academie de Nîmes, 1844
  - Quennell Peter, *The Colosseum*, Newsweek Publications, New York, 1971

- Smith William, *A dictionary of Greek and Roma antiquities*, J. Murray – J. Walton London 1880
- Stankovich Pietro, *Dell'anfiteatro di Pola*, Picotti Ed. Venezia, 1822
- Tecnofuni, *Catalogo funi tessili*, [www@tecnofuni.com](http://www.tecnofuni.com) (visitato il 5 agosto 2016) Ovada (AL)
- Tocco Elfisio Luigi, *Del Velario e delle vele negli anfiteatri particolarmente nell'anfiteatro Flavio*, Roma, tip. Menicanti, 1857
- Trevisan Camillo, *Sullo schema geometrico costruttivo degli anfiteatri romani: gli esempi del Colosseo e dell'Arena di Verona*, Disegnare idee e immagini n. 18/19, Giugno 2000
- Vitruvius trad. comm. Barbaro, *I dieci libri dell'architettura*, Francesco Marcolini Ed., Venezia 1556
- Whiteright Julian R., *Roman Rigging Material from the Red Sea Port of Myos Hormos*, The Int. J. of Naut. Arch., 36.2: 282-292, 2007
- Whiteright Julian R., *Maritime Technological Change in the Ancient Mediterranean: The invention of the lateen sail*, Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, University Of Southampton, Faculty of Law, Arts & Social Sciences, School of Humanities, June 2008
- Whiteright Julian R., *The Mediterranean Lateen Sail in Late Antiquity*, The Int. J. of Naut. Arch., 38.1: 97–104, 2009
- Wild Felicity C. ; Wild John P., *Sails from the Roman port at Berenike, Egypt*, The International Journal of Nautical Archaeology, Vol. 30, n. 2, pagg. 211-220, Dec. 2001

#### Sitologia:

<https://www.youtube.com/watch?v=goZXIyPLpY0>

by Daniele De Rocco COLIBRÌ GRAFICA [info@colibrigrafica.com](mailto:info@colibrigrafica.com) copertura parziale a piccole vele,

<http://www.velario-colosseo-velarium-colosseum.com/it/> articolo sul velario con link per il progetto francese

<https://www.tuttobarche.it/magazine/vele.html> sulle vele

#### Appendice:

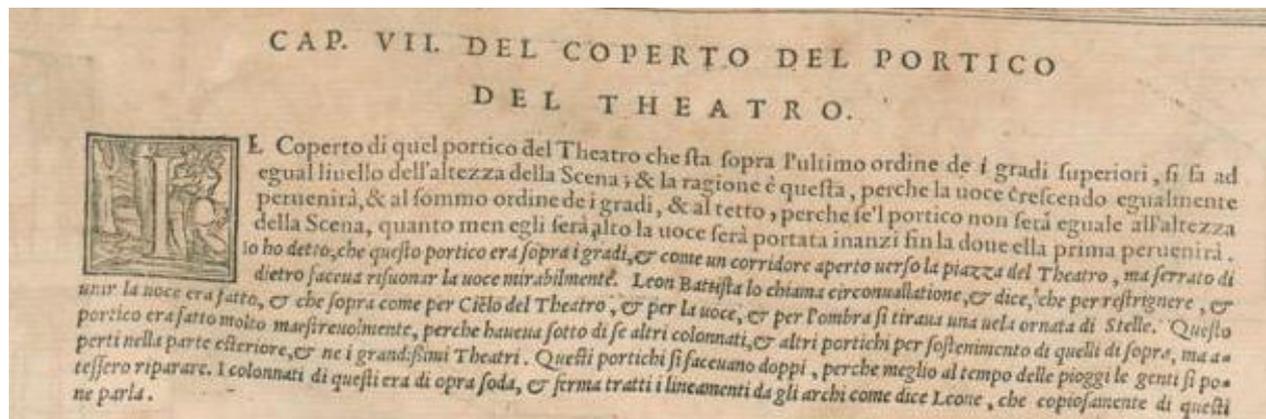


Fig. A-1 Battista Alberti e il portico coperto nei teatri

#### Battista Alberti De re aedificatoria Lib VIII f.152 r.

Cap 7 - Di ornare gli spettacoli, i theatri, e i corsi, e quanta sta la loro utilità

*Facciansi gli spettacoli in luoghi sani, acciò che non siano offesi da venti ò dal Sole, e specialmente il teatro, per che ne l'Agosto il popolo cerca poeti e sollazzi ne l'ombra si stava, massimamente che 'l raggio nel cerchio de la fabbrica ribattuto, cuocerebbe li corpi, e scaldati gli huomori, agevolmente infermerebbono. Sia quel luogo risonante con portichi ò congiunti ò vicini, ove ricorra ne le subite piogge.*

*In alcuni grandissimi theatri questo portico e doppio. Li pavimenti scoperti de i theatri si incrostano, perche resistano à le pioggie; facendo che le grondane pendano sopra gli anditi. Ma li condotti de le raccolte pioggie vengono sorbiti ne i cantoni, e per cannoni occulti scendono ne le fogne. Circa la piu alta parte del theatro mettonsi cornici, sedie [sostegni] e modioni [mutuli?], i qual sostentino alberi di nave con funi attaccate, con le quali si sostentino li veli per cuoprire il theatro. Ma dovendosi levare e tanta fabrica à la convenevole altezza facciansi il muro grosso quanto basti à portare un tanto peso. Farassi adunque il muro di fuori per li primi incolonnati grosso la quintadecima parte di tutta l'altezza de l'opera.*

**Barbaro** nel commento (1556) a Vitruvio L.V,VII scrive:

*Io ho detto, che questo portico era sopra i gradi, e come un corridore aperto verso la piazza del Theatro, ma serrato di dietro faceva risuonar la voce mirabilmente. Leon Battista lo chiama circovallazione, e dice, che per restringere o unir la voce era fatto, e che sopra come per Cielo del Theatro, e per la voce, e per l'ombra si tirava una vela ornata di Stelle. Questo portico era fatto molto maestrevolmente, perché haveva sotto di se altri colonnati, e altri portichi per sostenimento di quelli di sopra, ma aperti nella parte esteriore, e nei grandissimi Theatri. Quelli portichi si facevan doppi, perche meglio al tempo delle pioggie le genti si potessero riparare. I colonnati di questi era opra soda, e firma tratti i lineamenti degli archi come dice Leone, che copiosamente di quelli ne parla.*

Vitruvio (De Arch. I, cap.VI 55) prescrive che nell'edificazione di una nuova citta, s'abbia riguardo alla direzione dei venti; e vuole, che, costruita la cinta, nel centro dell'area da questa racchiusa, si descriva sopra un levigato piano di marmo (da lui chiamato marmoreum amussium), orizzontalmente disposto (ovvero sul suolo stesso spianato a perfezione e livellato), la Rosa dei venti; e ciò, a fin di stabilire la direzione delle vie e delle piazze tra l'una e l'altra regione degli otto venti principali; e per liberare da molestia i cittadini e da malanni la loro salute.

*Tum per angulos inter duas ventorum regiones, et platearum et angiportorum videntur debere dirigi descriptiones. Illis enim rationibus et ea divisione exclusa erit ex habitationibus et vicis ventorum vis molesta. Cum enim plateae contra directos ventos erunt conformatae, ex aperto coeli spatio impetus ac flatus frequens concursus in faucibus angiportorum vehementioribus viribus pervagabitur.*



Particolare della catena del porto di Pisa (Genova)

**FINE**