



Barbara Aterini

Architetto e PhD in Rilievo e Rappresentazione dell'architettura, è ricercatore di ruolo presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze. Ha conseguito l'abilitazione a professore di II fascia per il settore 08/E1-Disegno. Referente del curriculum icar/17 nel Collegio degli 8 referenti del Dottorato di Ricerca in Architettura Insegna Applicazioni della geometria descrittiva.

Geometria e misura nella torre campanaria di Pietrasanta: una conferma dal rilievo tridimensionale.

Geometry and measures in the bell tower of Pietrasanta: a confirmation by the three-dimensional survey.

Un semplice parallelepipedo laterizio cela al suo interno una scala coclide che si avvolge intorno ad un'ideale colonna d'aria. Fin dai primi rilievi sono emerse geometrie compositive che hanno fatto pensare al progetto di una mente colta e geniale come quella di Michelangelo Buonarroti presente sul posto proprio in quel periodo (1520). Il rilievo tridimensionale ha confermato le ipotesi: la scala elicoidale s'imposta su precisi rapporti e secondo geometrie semplici ma che restituiscono superfici complesse. La nuvola di punti svela i moduli proporzionali usati confermando la paternità. La voluta ionica estrusa nello spazio che guida la coclea, la concoide di Nicomede per modellare il vuoto interno alla maniera delle colonne classiche, la Spirale di Fibonacci nel disegno dell'elica ascensionale, così come il canone mensorio in palmi romani e la geometria della pianta impostata sul modulo di 18 palmi caratterizzano questa architettura.

It's a simple rectangular brick that hides inside a coclide staircase that wraps around an ideal air column. From the earliest surveys appeared a compositional geometry that can be connected to a cultivated mind and brilliant as that of Michelangelo Buonarroti, who was in Pietrasanta in 1520. The three-dimensional survey confirmed the hypothesis: the spiral staircase is set up on precise relations and according to simple geometries, but these generate complex surfaces. The point cloud reveals the proportional modules used, revealing the matrixes and confirming Michelangelo's authorship. The Ionic volute extruded in space that guides the auger, the conchoidal of Nicomede that models the internal void in the manner of classical columns, the Fibonacci spiral upward in the helix design, as well as canon Mensurius in Roman palms and the geometry of the plant set on a 18 palms paradigm are themes that characterize this architecture.

Parole chiave:

Geometria; Disegno; Rilievo; Campanile; Michelangelo.

Key words

Geometry; Design of architecture; Survey; Bell-tower; Michelangelo.

Quando si giunge sulla piazza maggiore di Pietrasanta il campanile appare come una semplice torre in laterizio che mostra il suo aspetto di non-finito in confronto alla marmorea facciata del Duomo di San Martino. Nessun elemento fa presagire che nell'interno nasconde una struttura complessa e di particolare interesse geometrico: una scala a chiocciola che sale per 35 metri avvolgendosi intorno al vuoto centrale. Questo costituisce un'ideale colonna d'aria.

Negli anni di ricerca¹ questa complessa architettura è stata studiata tramite campagne di rilievo diretto, fotogrammetrico e tridimensionale. Le ultime ricerche, intraprese con lo scopo principale di predisporre il restauro conservativo, sono state effettuate mediante rilievo tridimensionale con laser-scanner. Questo ha



Fig. 1. Il campanile del Duomo di San Martino a Pietrasanta. Il paramento laterizio avrebbe dovuto avere un rivestimento marmoreo come la facciata della chiesa.

permesso anche di confrontare i risultati con quelli derivati dalla prima fase di lavoro per giungere alla conclusione che sono, in maniera ragionevole, identici a quanto ottenuto in precedenza.

Il rilievo di questa struttura di forma variabile nello spazio e priva di riferimenti piani si è presentato fin dall'inizio piuttosto complesso ed è stato affrontato con metodologia integrata.

Il primo scopo era quello di comprenderne l'elaborata geometria sia in pianta che in alzato poi, di conseguenza, valutare la motivazione che ha portato a realizzare un'opera tanto complessa e, per giunta, così ben celata all'interno di una comune torre laterizia. Il campanile, costruito tra il 1518 ed il 1520, è attribuito a Donato Benti², ma tale paternità è stata messa in discussione proprio da questo studio, infatti per la genialità statica e geometrica e per i riferimenti culturali ed allegorici, le ricerche documentarie e la restituzione grafica del monumento hanno portato al nome di Michelangelo Buonarroti³.

La torre s'imposta su un dado di base che contiene l'accesso all'interno dove la scala presenta una soluzione strutturale innovativa rispetto a qualsiasi altra scala elicoidale⁴.

In questa costruzione, infatti, si ha il superamento del sistema trilitico 'statico', essa si propone come una struttura 'dinamica' che può crescere all'infinito in senso ascensionale, tramite la creazione di un oggetto sul quale poggiano gli elementi orizzontali delle pedate marmoree dei gradini; quest'oggetto risulta generato dalla muratura estroflessa, conseguenza del piano di posa dei mattoni. In tal modo la scala gira intorno a se stessa avvolgendosi senza appoggiare al centro come, invece, avviene per le altre scale coclidi. Così priva di un asse solido, qui sostituito da un vuoto, si avvolge intorno alla 'canna di aria' mostrandosi come una grandiosa scultura in negativo, che appare intagliata secondo il michelangiolesco 'per via di levare' nello spessore del monolite laterizio. Si tratta, dunque, di un'architettura inversa, cioè ottenuta per sottrazione.

Una soluzione architettonica di questo tipo porta a pensare che alla base di questo progetto non ci fossero solo motivazioni funzionali.

Infatti le semplici scale di legno o quelle con gradini a sbalzo incastrati nella parete avrebbero comunque assolto alla funzione di raggiungere la cella campanaria. Quindi questa architettura così congegnata, oltre ai

concetti simbolico-religiosi, racchiude in se altri significati che nel tempo sembrano andati persi, ma che una lettura tramite il rilievo critico ha potuto riportare alla luce.

La struttura appare unica nel suo genere sia per la forma elicoidale che per il periodo nel quale è stata progettata e realizzata⁵.

La muratura del campanile genera un'estroflessione della parete interna di circa 80 centimetri su cui appoggiano i gradini; dunque la scala sembra concepita come una 'nuova trabeazione coclide a sbalzo' dove sono però riconoscibili gli elementi dell'ordine architettonico classico: architrave, fregio e cornice, anche se rimane visibile solo la parte superiore di quest'ultimo, cioè la sima, qui reinterpretata come sequenza dei



Fig. 2. L'interno del campanile di San Martino visto dal basso. Il vortice di laterizio genera una sensazione di ascesa.

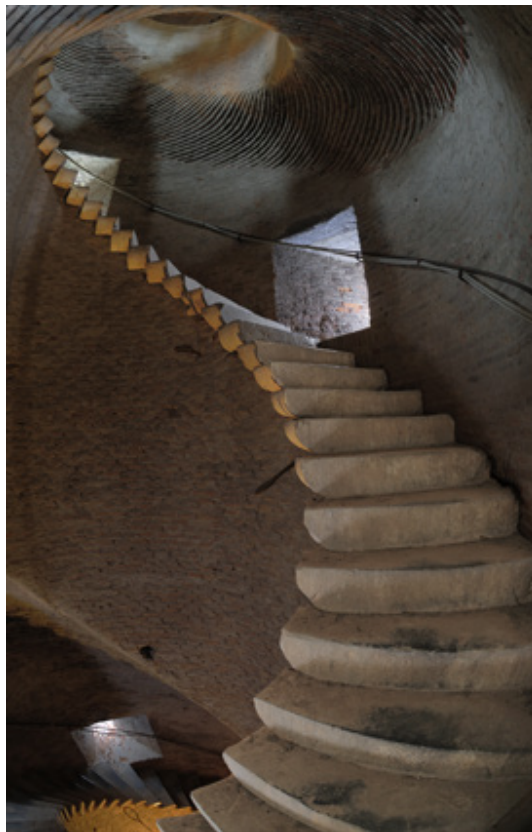


Fig. 3. All'interno la struttura appare, invece, unica nel suo genere sia per le superfici geometriche sia per il fatto che è autoportante.

gradini in marmo appoggiati sulla superficie inclinata elicoidale. Questa 'nuova trabeazione', come si è detto, non poggia su alcun sostegno, ma è autoportante; non ha bisogno di essere incastrata come una mensola nella parete del campanile, come accade per tutte le altre scale coclidi conosciute, ma è generata dalla geometria dei piani di posa dei mattoni della fabbrica.⁶

Si assiste così ad una trasformazione plastica, quasi in chiave scultorea, della volta di sostegno dei gradini, che produce, in coloro che salgono, la sensazione di trovarsi dentro un vortice ascendente.

La scala si affaccia sul vuoto: un vuoto 'dinamico' che avvolge completamente chi la percorre, poiché non esiste alcun elemento architettonico che lo delimiti. Possiamo osservare come la monoliticità dell'esterno contrasti con lo spazio interno articolato e progettato nella sua avvolgente complessità.

La ricerca effettuata ha dimostrato che la parte esterna e quella interna sono due entità architettoniche ben distinte ma, comunque, in stretta correlazione.

Tralasciando volutamente la ricerca storica che, da analisi più precise sembra confermare la paternità di Michelangelo, negando l'improbabile esecuzione progettuale dello scultore-scalpellino Donato Benti,⁷ appare interessante illustrare alcuni risultati del rilievo effettuato sulla torre campanaria.

Questo articolo sviluppa quanto esposto in precedenti pubblicazioni⁸ dopo che il rilievo strumentale⁹ ha fornito elementi concreti che danno conferma di quanto intuito nelle precedenti fasi di studio su questa architettura. Il rilievo integrato del campanile ha permesso il controllo delle relazioni metriche e geometriche della fabbrica documentandola, sia nella morfologia che nelle dimensioni, tramite l'osservazione diretta delle strutture murarie per leggere la successione edilizia alle varie fasi costruttive.

In una prima fase di lavoro la redazione del rilievo metrico di base e la definizione delle geometrie dell'organismo architettonico si sono avvalse di tecniche miste, topografiche e fotogrammetriche che, procedendo dal generale al particolare, hanno permesso l'inserimento successivo di tutte le informazioni di dettaglio. Successivamente, tramite il rilievo tridimensionale,¹⁰ è stato possibile operare il confronto dei dati acquisiti con i vari sistemi per verificare ipotesi e produrre il rilievo critico dell'oggetto.

Per realizzare il rilievo con scanner laser dell'interno si è dovuto realizzare un ponteggio nel vuoto centrale, fino alla cella campanaria, creando differenti ripiani a quote stabilite, su cui veniva posizionato lo strumento. In tal modo si è proceduto in contemporanea con una squadra di operai che, una volta effettuata la ripresa a una data quota, smontava l'impalcatura fino al ripiano successivo. Con la determinazione topografica è stato possibile costruire un supporto metrico di adeguata precisione sia per la restituzione fotogrammetrica che per la referenziazione delle range map provenienti dai sistemi a scansione.



Fig. 4. La particolare struttura elicoidale si conclude bruscamente in una normale cella campanaria simile a quella di molti altri campanili.

Nella fase di post produzione partendo dalla restituzione del rilievo topografico con la messa a registro dei dati della scansione si è ottenuto il modello tridimensionale.

La scelta di procedere per sezioni verticali, definendo i piani di taglio del modello, ha permesso di confrontare le sezioni ottenute tramite il rilievo diretto con questi reference planes del modello tridimensionale in modo da ottenere dettagliatamente tutte le superfici curve laterizie, al fine di leggerne la tecnica costruttiva e le eventuali relazioni geometriche.



Fig. 5. Il ponteggio realizzato per eseguire il rilievo tridimensionale..



Fig. 6. La ripresa con scanner laser.

Partendo dal presupposto che 'non si può comprendere un'architettura se non la si misura e la si disegna' il primo passo è stata la sua lettura morfologica, proprio attraverso il disegno, cominciando dal piedistallo composto da basamento, dado e cimasa, secondo le proporzioni dell'ordine architettonico alla base di ogni costruzione.

Un'importante osservazione è stata quella relativa all'orientamento della fabbrica che ha il prospetto principale rivolto a sud-est, mentre quello opposto, sulla piazza, è allineato insieme la facciata del Duomo di San Martino a nord-ovest: quindi le diagonali della pianta risultano perfettamente allineate ai quattro punti cardinali. Inoltre la scala interna ha un andamento da est verso nord in un moto inverso a quello del sole, cosa che si può esplicitare anche dicendo che salendo gira da destra a sinistra. Sicuramente la cosa non è priva di significato pensiamo, infatti, che nelle torri militari le scale a chiocciola giravano nel verso opposto per non ostacolare il movimento della mano destra che sfoderava la spada.

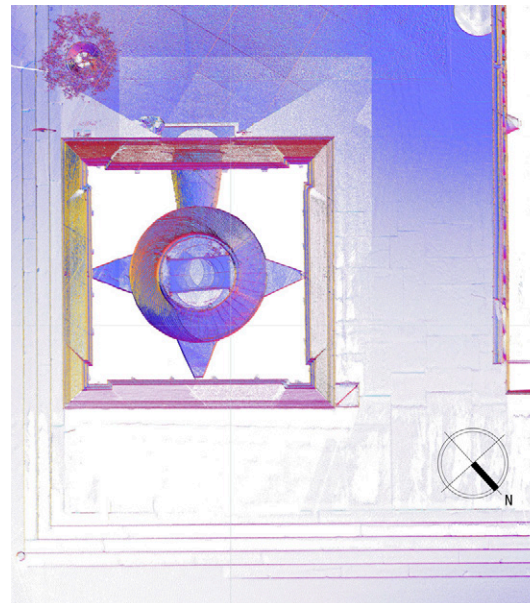


Fig. 7. Sezione orizzontale ottenute con la messa a registro della nuvola di punti..

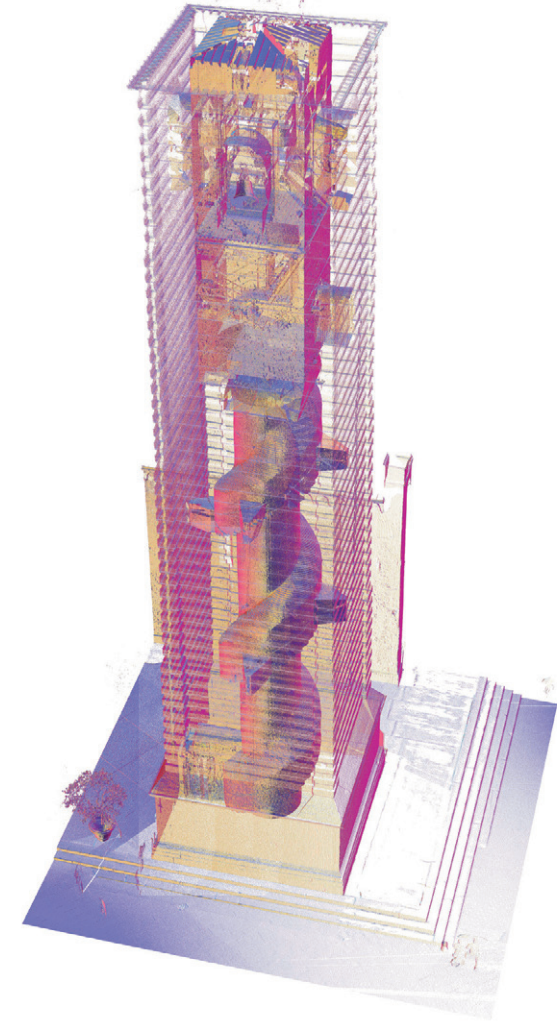


Fig. 8. Vista del modello tridimensionale del campanile..



Fig. 9. Il campanile accanto al Duomo di San Martino.

Entrando nel dado di base del campanile, si accede in uno spazio piuttosto stretto che ha un diametro di circa tre metri dove, però, l'esiguità del vano è compensata dalla sensazione del vuoto ascendente che porta verso l'alto in un percorso elicoidale di purificazione sull'onda della concezione dantesca degli inferi.

La disposizione dei mattoni è singolarmente semplice: quelli che generano sia l'intradosso del vano scala sia lo sbalzo elicoidale sono posti tutti di testa.

In pianta il campanile di Pietrasanta si imposta sul disegno di una voluta ionica che si estrude nello spazio. Il percorso elicoidale del guscio della chiocciola o della conchiglia del mollusco Nautilus che viene interpretato dalla scienza come la concretizzazione della spirale



Fig. 10. L'ingresso al campanile nel dado di base.

di Fibonacci, uno sviluppo armonico che sta alla base della crescita di tante forme di organismi viventi dalla disposizione delle foglie nelle piante all'avvitamento dell'elica del DNA.

Una curva ripresa, probabilmente, anche da Nicola Pisano nella costruzione del campanile di San Nicola, opera certo conosciuta da Michelangelo, che si recava a Pisa per spedire i marmi scelti per la facciata di San Lorenzo e nota al Vasari che ne parla nella sua opera. La scala del campanile pisano, seppure realizzata ancora in modo tradizionale, cioè appoggiandosi alla muratura esterna ed al piantone cilindrico centrale, ha la parete interna totalmente traforata da arcatelle su colonnette, offrendo così la possibilità di osservare l'av-



Fig. 11. Lo spazio interno: l'inizio della 'colonna' di vuoto.

vitamento dei gradini, cosa che viene sviluppata nella struttura pietrasantina.

L'osservazione possibile da diversi punti di vista, dall'alto, dal basso e dal centro del pozzo, risulta inusuale per tutte le scale a chiocciola precedenti che erano, invece, ben celate nella muratura.

A Pietrasanta l'idea degli avvolgimenti coclidi potrebbe essere vista, simbolicamente, come una citazione aulica del mito di Dedalo¹¹ o di altri miti, non ultimo quello della torre di Babele, ma anche come lo sviluppo dell'idea architettonica nota.

All'interno del vano scala del Campanile si rimane colpiti dalla particolare superficie concava che sovrasta i gradini della coclea: l'unico esempio finora conosciuto

di elicoide cerchiato retto aperto, realizzato come un elemento scultoreo-architettonico il cui principio modella l'intera torre a partire dal plinto del basamento del piedistallo.¹² La prima parte dell'elicoide cerchiato retto mostra alcune anomalie dovute, probabilmente, ad errori di realizzazione che il costruttore ha cercato di correggere man mano che proseguiva nella costruzione, oltre a rotture per degrado dei laterizi aggettanti dello sbalzo. Il rilievo, tramite sezioni con piani passanti per l'asse del Campanile e perpendicolari a quello di riferimento, ha permesso di restituire sul foglio da disegno la proiezione ortogonale delle tracce dei piani di sezione; tutto ciò al fine di evidenziare graficamente il movimento dell'elicoide cerchiato nello spazio, gradi-

no dopo gradino, attraverso una superficie denominata elicoide rigato obliquo aperto, costituito dalle tracce dei piani proiettanti di sezione, sotteso fra l'elica superiore e quella inferiore, bordi dell'elicoide cerchiato aperto che determina lo sbalzo della rampa elicoideale. La superficie dell'elicoide rigato obliquo aperto che, a prima vista, appare come un ventaglio inflesso a curvatura costante è individuata dalle corde appartenenti alle tracce dei piani proiettanti di sezione sottese fra l'elica superiore e quella inferiore dell'elicoide cerchiato retto aperto; essa prende avvio dal muro a destra, rispetto all'entrata del Campanile, tramite una sequenza di aggetti di mattoni (circa venti) posti di testa. Man mano che si sale, però, i letti di posa dei laterizi non



Fig. 12. Prospettiva dal basso dell'interno. Si notano i ricorsi regolari dei mattoni che generano la particolare curvatura della superficie.

<http://disegnarecon.univaq.it>

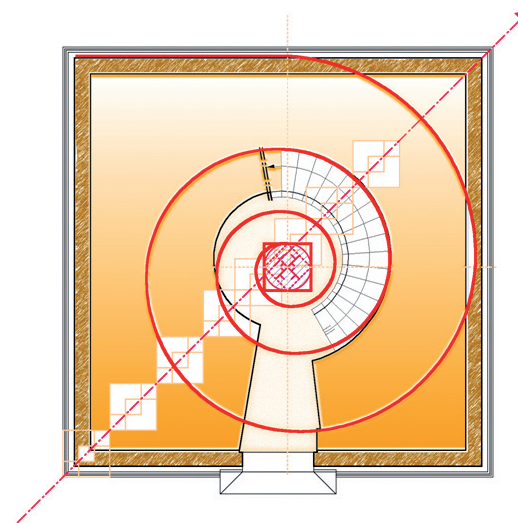


Fig. 13. La pianta del campanile con gli assi propri. Su di essa s'imposta la voluta ionica che si estrude nello spazio.

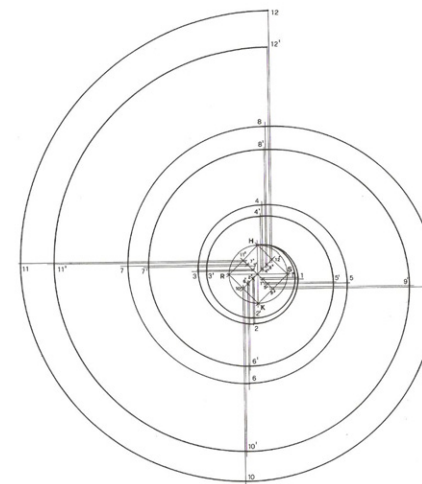


Fig. 14. Costruzione geometrica della voluta ionica.

si mantengono costantemente nella stessa posizione aggettante, l'intervallo fra l'elica superiore ed inferiore si contrae e si dilata, mostrando che le due eliche non sono parallele, come accadrebbe se l'interno fosse cilindrico e modellato secondo il concetto di una vite a passo costante.

Esiste una variabilità della pianta interna alle diverse quote e, dalle misurazioni effettuate in corrispondenza delle finestre, sono emerse significative variazioni come se la scala, avvolgendosi, generasse un occhio che si comporta alla maniera di un fusto di colonna. Analizzando i fusti delle colonne dei vari ordini si è visto che il profilo si avvicina, in maniera convincente per quantità e misure, a quello ionico e si sviluppa, come ricorda il Vignola, secondo la conoide di Nicomede.¹³

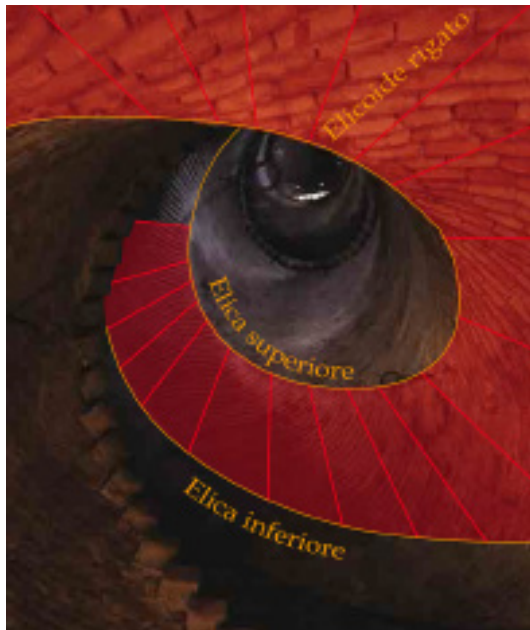
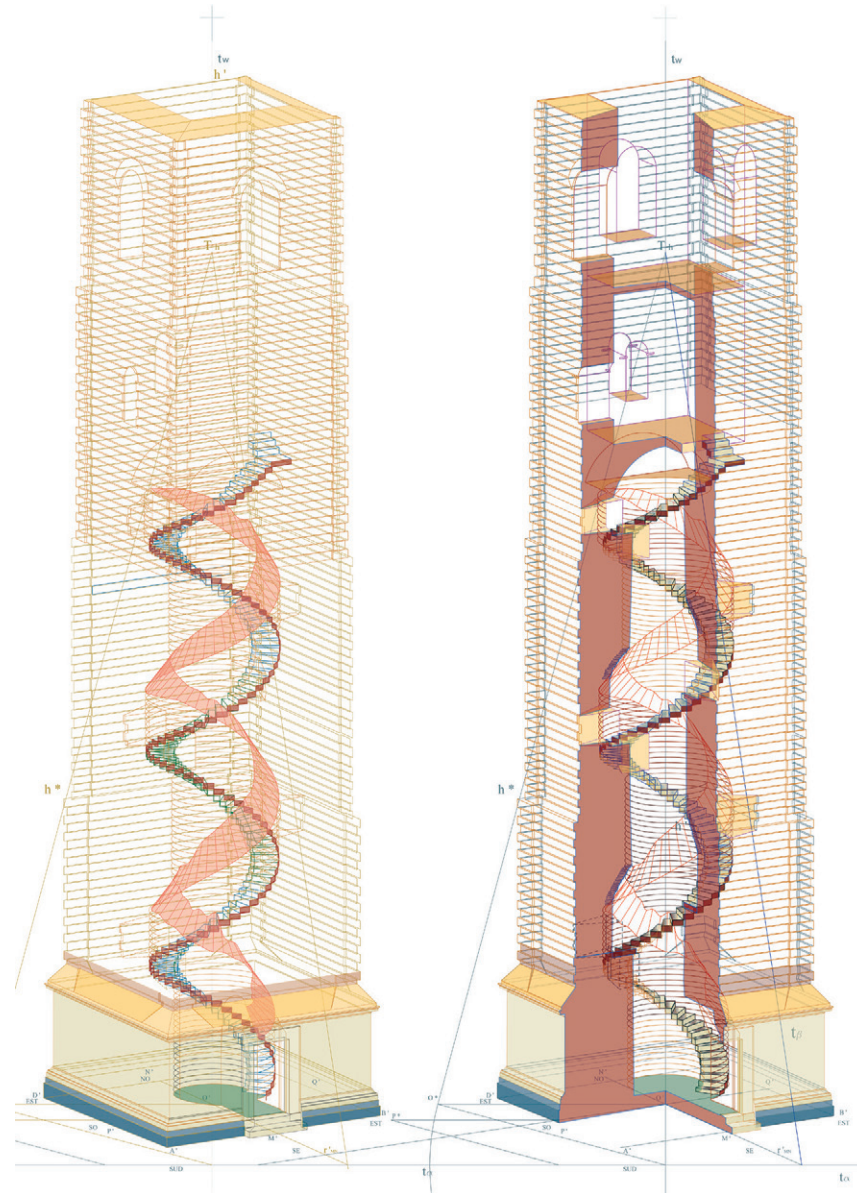


Fig. 15. La superficie ideale dell'elicoide rigato obliquo aperto individuata dalle corde appartenenti alle tracce dei piani proiettanti di sezione sottese fra l'elica superiore e quella inferiore dell'elicoide cerchiato retto aperto.

Fig. 16. Il disegno in prospettiva parallela ha permesso di riportare e rappresentare tutti i dati del rilievo diretto per sezioni e di controllare la struttura sia planimetricamente che in alzato a tutte le quote.



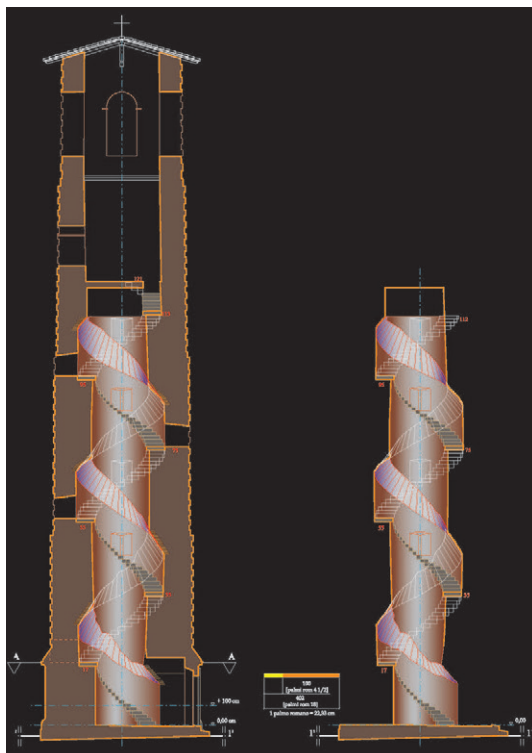


Fig. 17. Il vuoto interno definito dalle superfici elicoidali si comporta come il fusto di una colonna.

Inoltre risponde alle proporzioni per il dimensionamento delle altezze dei tre membri della colonna ionica: $\frac{1}{2}$ modulo per la base, 8 moduli per il fusto, $\frac{1}{2}$ modulo per il capitello, si tratta in totale di 9 moduli. Le coincidenze cominciano ad essere molte considerando, in ultimo, che la parte del tetto avrebbe occupato circa il mezzo modulo restante.

La colonna costituita dal vuoto interno, la cui superficie è l'elicoide cerchiato retto aperto a sezione mistilinea, è modellata dalle eliche di massimo e di minimo secondo un'elica di gola, quella più interna, ed un'elica equatoriale, identificabile con l'attacco dei gradini alla parete; ambedue potrebbero appartenere alla concoide o ad una superficie tronco-conica.

<http://disegnarecon.univaq.it>

Il vuoto interno risulta definito dall'intersezione delle superfici curve di secondo ordine e, di conseguenza, è costituito da una curva di quart'ordine.

Il rilievo tridimensionale aveva, fra l'altro, lo scopo di valutare se la rastremazione emersa possa essere causata non da una variazione planimetrica, ma da una curvatura di affusolatura.

Il dubbio è nato dal fatto che i ricorsi laterizi variano nel numero di elementi a scansioni ben precise e, parallelamente, vi è una rastremazione esterna della sezione muraria rilevabile anche dai prospetti del Campanile che sono, ovviamente, correlati con la geometria interna.¹⁴

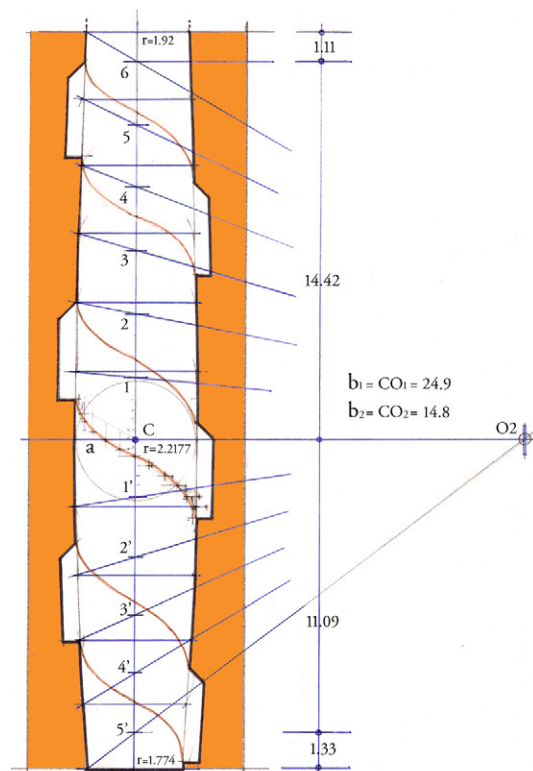


Fig. 18. Costruzione grafica, sezione dell'elicoide verificata della Concoide di Nicomede.



Fig. 19. Il risultato del rilievo tridimensionale. Le superfici elicoidali che modellano la colonna di vuoto e le finestre alle quote stabilite.

L'ipotetico dimensionamento del vuoto interno al campanile di San Martino, concepito come un grande fusto ionico rimanda in modo palese alle colonne romane degli imperatori Traiano e Marco Aurelio, per il cartiglio avvolgente che si sviluppa in altezza; per l'ingresso ricavato nel dado di base e per la scala coclide interna, scolpita nei rocchi di marmo, come quella realizzata all'interno del campanile.

Queste, probabilmente, rappresentano il modello ispiratore con cui confrontare scientificamente la torre campanaria di Pietrasanta.¹⁵

Contemporaneamente alla ricerca sulle geometrie è stato condotto uno studio sulle unità di misura utilizza-



Fig. 20. La colonna Traiana a Roma: uno dei modelli ispiratori per la torre campanaria di Pietrasanta.

te nel progetto e nella realizzazione di questa fabbrica, poiché nel modo di ragionare di progettisti e costruttori fino all'adozione del sistema metrico-decimale non esistevano calcoli complessi: tutte le più importanti costruzioni erano frutto di studi e operazioni geometrico-matematiche e, spesso, la conoscenza di un semplice fattore moltiplicatore o divisore era la chiave per la loro facile esecuzione garantendo anche la riconoscibilità del maestro costruttore.

Esaminando le unità di misura che all'epoca potrebbero essere state utilizzate per il progetto del Campanile di San Martino sono stati considerati in particolare: il Palmo dei marmi di Carrara, verosimilmente usato nella zona ricca di cave di marmo; il Braccio ed il Palmo fiorentino per la logica secondo la quale Pietrasanta era terra di conquista di Firenze; il Piede ed il Palmo romano visto che in quel periodo nelle cave limitrofe si sceglievano i marmi per la tomba di papa Giulio II che era stata progettata con questa unità di misura.

Le griglie delle varie unità di misura sovrapposte sia alla pianta che alla sezione hanno permesso di individuare nel Piede romano classico¹⁶ quella usata per il progetto del campanile. Il rapporto fra le lunghezze degli elementi ed il Piede, tende ancor più ad esprimersi in numeri interi o frazioni 'semplici' così la lettura in palmi soddisfa pienamente i rapporti della costruzione¹⁷.

Questo svela la concezione progettuale ed è la chiave di lettura del monumento. Inoltre permette di stimarne le fasi costruttive, compresi i giorni occorsi per l'edificazione che sembrano aggirarsi intorno ai due anni. La griglia in Braccia fiorentine, comunque, risponde a certe parti relative al cantiere; così alcuni elementi, come il diametro maggiore del vano scala e lo spessore dell'aggetto, pari a 7 Braccia ciascuno, sono congruenti con questa unità di misura; questo porta ad ipotizzare che il Braccio fiorentino sia stato usato solamente in fase costruttiva, ma non progettuale.

Invece il Palmo romano esprime in modo semplice e, quindi, cantierabile ogni elemento dell'edificio, dalle modanature del piedistallo alla larghezza dei gradini; cioè tutta la costruzione si racconta in cifre tonde, cosa che non viene assolta dalle altre unità di misura¹⁸. Il fatto che sia l'unità di misura con cui sia stato progettato il Campanile ha un'importanza storica rilevante, in quanto è la stessa dichiarata da Michelangelo nel contratto del 6 maggio 1513 per la realizzazione della tomba di papa Giulio II ed è plausibile, come si è detto,

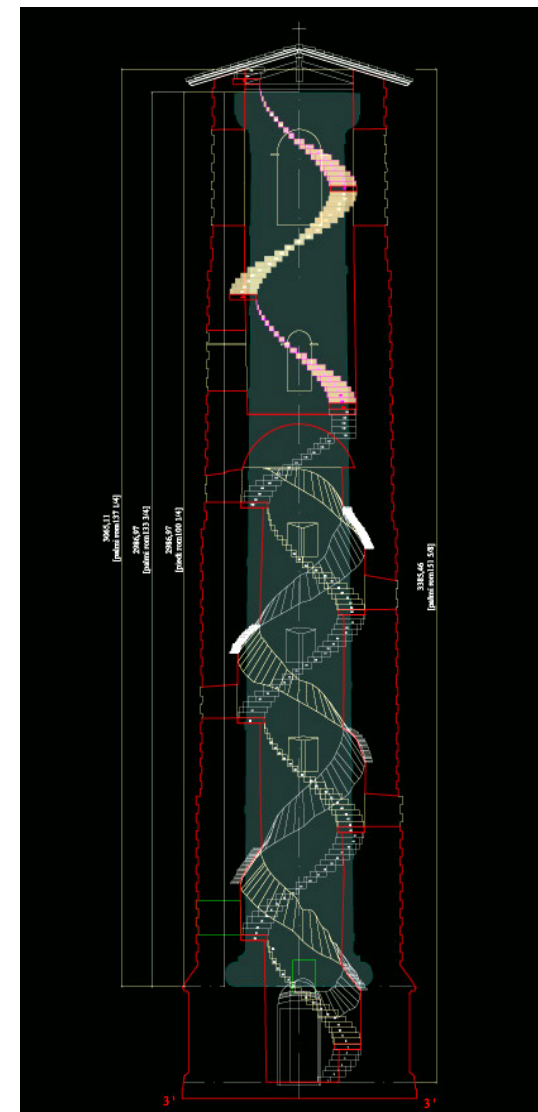


Fig. 21. La colonna immaterica individuata dalle superfici elicoidali, secondo le misure, avrebbe dovuto avere due rampe in più. In tal modo avrebbe raggiunto altezza e medesimo numero di gradini della Traiana..



Fig. 22. La superficie elicoidale vista dal basso. Al centro si percepisce la colonna immaterica definita dalle superfici laterizie su cui poggiano i gradini marmorei.

data la presenza di Michelangelo a Pietrasanta proprio in quel periodo,¹⁹ avvalorando l'ipotesi che egli ne sia il progettista.

Con la griglia in Palmi è possibile controllare anche lo sviluppo verticale del Campanile:²⁰ si tratta di misure intere, per cui possiamo ipotizzare una stima fatta per numeri semplici, facilmente calcolabili persino ai tempi di realizzazione dell'opera.²¹ Poiché si è immaginata la torre campanaria concepita come una gigantesca colonna, alla luce di quanto trovato, secondo le leggi che regolano la morfologia architettonica espressa con gli Ordini, si è potuto individuare come modulo il diametro della circonferenza di base del vano scala o il quadrato di 18 Palmi romani di lato in cui è inscritta. Tale riferimento regola anche l'organizzazione verticale del Campanile ed i suoi sottomultipli, espressi in Palmi romani e frazioni 'semplici' di esso, risultano essere il più possibile congruenti con i vari elementi architettonici della struttura. L'analisi mensoria della sezione vertica-

le della torre campanaria ha evidenziato che l'altezza attuale a livello della gronda è 34,07 metri,²² misura riconducibile a 150 palmi se si tiene conto che la costruzione ebbe un arresto improvviso e che la parte terminale è stata successivamente 'rimaneggiata'.²³ Il progetto originario prevedeva, quasi sicuramente, altri due avvitamenti della scala coclide che avrebbe così raggiunto una quota molto vicina a quella della colonna Traiana.²⁴ Inoltre la scala coclearia interna alla Traiana è composta da 185 gradini, il medesimo numero di gradini del campanile se fossero stati realizzati i 5 avvitamenti proposti dal progetto originario, ognuno dei quali contava circa 36 gradini.²⁵ D'altra parte 36 è il doppio di 18 numero dei palmi del diametro maggiore del pozzo ed è ancora la misura in palmi del lato della pianta. Va sottolineato che il diametro del fusto marmoreo della Traiana misura proprio 18 palmi. Quindi il monumento romano può essere il riferimento non solo morfologico, ma anche dimensionale, sicuramente noto al progettista.²⁶

Evidentemente queste relazioni non sono casuali e sembrano provare che "anche Michelangelo credeva all'armonia di 'tutta quella musica' che, secondo una felice espressione albertiana, sarebbe stata espressa dai consonanti rapporti proporzionali del 'magico' accordo dei numeri armonici".²⁷

L'apparato mensorio così individuato, che sembra descrivere ottimamente le varie problematiche della struttura e della fase cantieristica, in realtà salta nella scansione interna all'intradosso del solaio della cella campanaria, mentre all'esterno la modularità sembra proseguire in maniera coerente. La crescita dell'alzato obbedisce rigorosamente alla disposizione della messa in opera dell'elemento edilizio ed è in questo spazio gestionale che emerge l'acutezza del Magister, la figura direzionale del cantiere, che detiene il protocollo completo dell'edificio costruendo.

E' esattamente in questo momento che la concezione di controllo tradizionale viene applicata secondo uno schema costruttivo nuovo. Se il progettista avesse voluto realizzare un cannocchiale cilindrico nell'impianto si sarebbe servito delle proprietà del cerchio che, per usare un termine tanto attuale, quanto sbagliato, estruso, genera un cilindro; oppure se avesse voluto dare una rastremazione verso l'alto si sarebbe servito di cerchi concentrici che definiscono le sezioni successive di un cono.

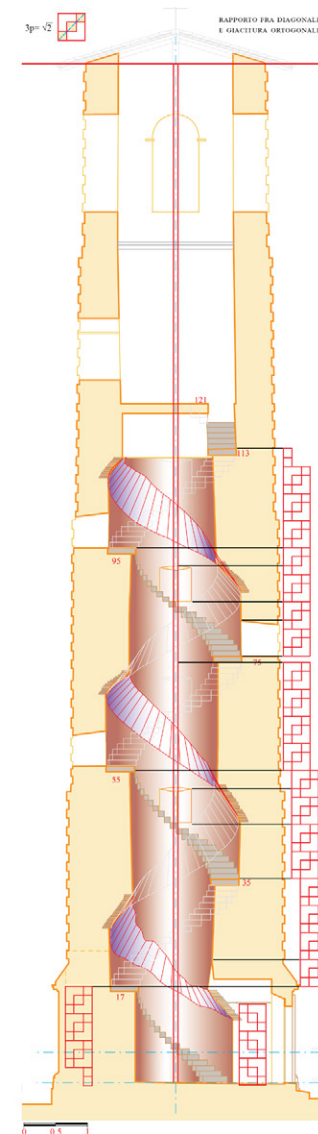


Fig. 23. Sezione verticale della torre con evidenziata la colonna di vuoto e scansione secondo il modulo in palmi romani..

Secondo la lettura in palmi romani la pianta della torre campanaria, compreso il paramento laterizio, misura 36 palmi di lato alla base del piedistallo, mentre il vano interno alla medesima quota ha un diametro di 18 palmi. In sostanza si può suddividere la base quadrata di lato 36 in 4 quadrati ciascuno di 18 palmi, collocandone un quinto al centro, sempre di 18 palmi, all'incrocio delle diagonali del quadrato maggiore di base. L'intersezione dei quattro 'moduli' determina il centro e gli assi geometrici dell'intera pianta.

Nell'architettura antica, infatti, gli assi erano fisicamente riscontrabili, essendo vuoti o spazi propri che gestivano l'errore nella costruzione²⁸. L'asse proprio è una quantità legata al modulo secondo i suoi sottomultipli, che individua nella struttura elementi seriali per disporli e distribuirli.

Così il modulo assume un valore non solo mensorio, ma anche cantieristico. Tenendo conto del fatto che qualunque costruzione deve far riferimento al cantiere e spesso accade che gli assi geometrici teorici siano tradotti in pratici elementi fisici, con spessore proprio, dai quali poter misurare, è plausibile rilevare che l'intero riferimento, allineato con il bordo del perimetro esterno del primo zoccolo del piedistallo, genera alla mezzeria una differenza di 1/2 Palmo pari a 11,17 centimetri. Tale dimensione è compatibile con quella di un travetto di legno da cantiere ed è misura già vista all'interno del Campanile quale oggetto dei gradini di marmo nel vano scala. Dunque questa dimensione è funzionale all'intero cantiere poiché si palesa nelle realtà costruite.

Possiamo notare che il centro della circonferenza del vano scala non cade sulla mezzeria dell'asse ma è tangente al suo spessore. Senza voler ricorrere alla scusa dell'errore di costruzione abbiamo indagato trovando un'altra spiegazione legata alla particolare geometria della pianta, ma ancor più a quella della superficie eliocoidale creata dall'oggetto della scala.

La pianta, come si è detto, s'imposta sulla voluta ionica, curva che procede per quadranti, non ha raggio costante e possiede un rapporto noto fra raggio, corda ed arco di cerchio corrispondente. Inoltre possiede la caratteristica di accrescersi secondo un andamento proporzionale, tenendo conto del rapporto che intercorre fra i raggi di ciascuno dei quattro quadranti necessari e le relative corde. Tali rapporti sono capaci di sviluppare superfici inclinate con passo regolare e differente rag-

gio. Un'ulteriore caratteristica di questa curva è quella di riuscire a raggiungere ad ogni quadrante il punto di massima tangenza e quindi raccordarsi in maniera armonica con una linea retta.

Nel campanile i rapporti della voluta sembrano regolare l'allettamento piano dei mattoni; e controllano il vuoto lasciato dalle scale, contrapposto ai mattoni che man mano radialmente giungono a disporsi secondo le direttrici del quadrato verso l'esterno, riuscendo a costruire così, una struttura autoportante.

Una forma all'apparenza tanto complessa si rivela, alla luce del rilievo e della relativa analisi geometrico descrittiva, di estrema semplicità nel tracciamento in cantiere e quindi nell'esecuzione da parte delle maestranze.²⁹ Il progredire nella costruzione dal basso verso l'alto, in auto referenziazione, ovvero nel trovare all'interno della costruzione stessa punti di controllo e livelli di crescita, ha innescato una verifica sui principi progettuali che hanno dovuto guidare l'esecuzione. La modularità del dado di base, la differenza di quota fra le aperture, il numero degli scalini necessari a fare un quarto di giro sono tutti elementi leggibili in base 10. La medesima altezza della struttura fino alla cella

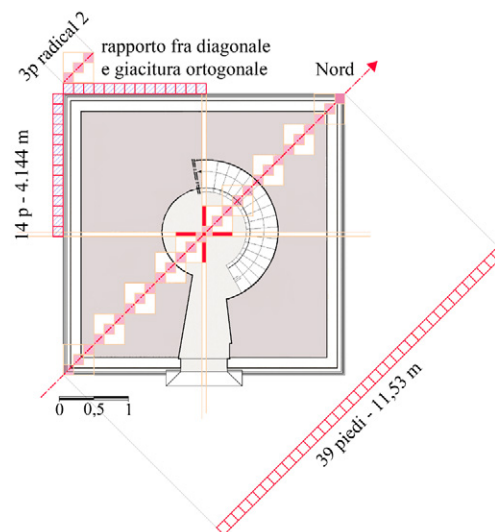


Fig. 24. La pianta del campanile di San Martino con gli assi propri ed i moduli.

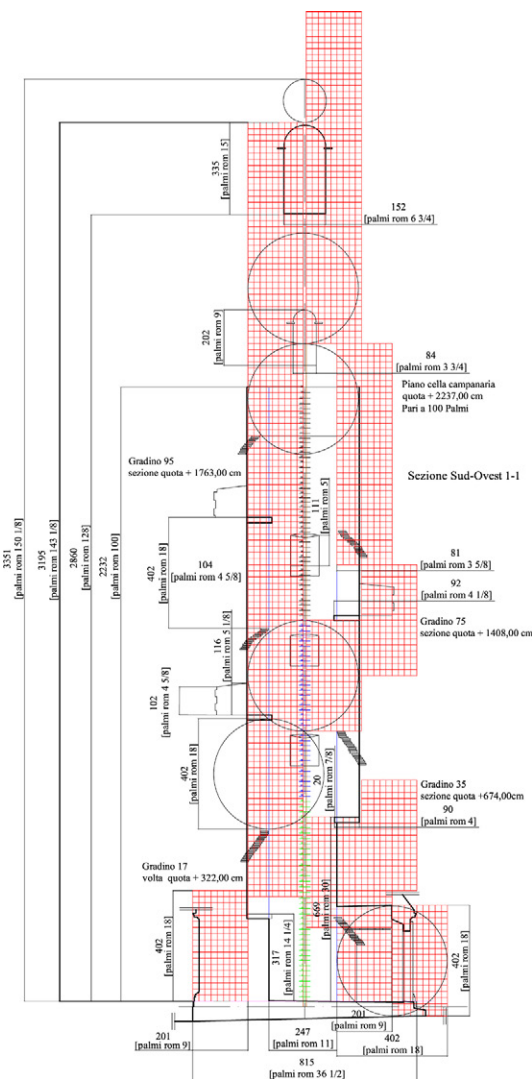


Fig. 25. La scansione modulare in palmi romani nella sezione verticale.

campanaria è leggibile, sempre in base 10; ecco che il rapporto 1 a 10 inizia ad assumere una qualità narrante della possibile struttura geometrica messa in campo. Tutta la costruzione obbedisce in maniera esplicita a tale relazione: ogni 10 scalini si compie un quarto di giro e si determina il piano del vano della finestra che occupa sul prospetto esterno la parte centrale.

Questo stesso piano è l'unico controllo fra interno ed esterno e regola la rastremazione esterna del muro e l'andamento non costante della curvatura interna.

Un ritmo così definito (quello delle aperture) e la necessità di avere una costante interna (l'alzata dei gradini) hanno indotto a ricercare una logica geometrica che doveva essere ripetibile, controllabile e realizzabile in modo semplice.

La scansione in base 10 rilevata nel ritmo dei gradini è rintracciabile anche nella composizione in pianta che rivela come l'aggregazione di 5 moduli sia la matrice geometrica di ogni quarto di curvatura. Infatti la griglia in palmi romani sovrapposta alla pianta del campanile svela che questa è stata pensata come una composizione di 5 moduli dei quali 4 pieni ed uno, che è l'asse, vuoto. Come abbiamo detto, infatti, la base quadrata di 36 palmi di lato può essere suddivisa in 4 quadranti di 18 palmi, considerandone un quinto, sempre di 18 palmi, al centro ovvero all'incrocio delle diagonali del quadrato maggiore della base, il quale darà appunto la misura del diametro della colonna di vuoto contenente sia la mensola spirale della scala, sia l'ulteriore pozzo vuoto centrale.

Il manufatto doveva assorbire gli errori prodotti nella fase costruttiva e, trattandosi di una struttura chiusa, l'errore poteva compromettere in modo significativo l'esecuzione finale dell'idea progettuale. All'inizio della costruzione vi è traccia di un errore: i primi quattro gradini, infatti, denunciano un andamento non costante dell'elica equatoriale, cioè non pienamente definito con gli oggetti dei mattoni; mentre subito dopo, dal sesto gradino in poi, l'elica appare netta e continua fino al solaio della cella campanaria. L'errore, dunque, è stato corretto ed assorbito negli unici punti di controllo e di possibile slittamento della struttura, ovvero le finestre. Queste hanno un'ampiezza di 18 palmi, corrispondenti alla misura dell'asse planimetrico, e diventano così loro stesse assi propri di controllo verticali. Gli scalini, che rappresentano la costante interna, subiscono piccole variazioni, dell'ordine di 1 o 2 centimetri nell'alzata,



Fig. 26. Vista dall'alto della scala elicoidale. La scansione in base dieci.

solo in prossimità del livello che condividono con la finestra, ciò significa che proprio in quel punto, in fase esecutiva, è stato ricalcolato e riassetato il quadrante successivo. Il lavoro di ricerca ha rimesso insieme le varie evidenze: la geometria della coclide che richiama il fusto di una colonna, la voluta che regola la spazialità della pianta e la giacitura dei mattoni, la superficie elicoidale e le modularità così come l'organizzazione del cantiere. Solo con tali dati geometrici, con questo tipo di rappresentazione e questo modo di analizzare la forma, applicando tutti i principi proiettivi più evoluti siamo riusciti a visualizzare l'idea progettuale in maniera analitica e quindi univoca, perciò scientificamente af-



Fig. 27. L'errore all'inizio della costruzione dell'elica.

fidabile. Certo è che i riferimenti alle unità di misura romane, l'utilizzo del modulo in Palmi, piuttosto che in Braccia fiorentine, insieme alla geometria della Colonna quale modello per antonomasia, sembrano indicare sempre più con maggior certezza lo stretto rapporto fra Pietrasanta e Roma avvalorando l'ipotesi della paternità michelangelolesca. Il progetto della scala elicoidale appare così come un'idea grandiosa e del tutto nuova che, al di là delle prove documentarie, può essere stato concepito soltanto da una mente colta e geniale come quella di Michelangelo Buonarroti. Dunque potrebbe essere un lavoro maturato fra due importanti incarichi, la Sistina e la facciata di San Lorenzo a Firenze.

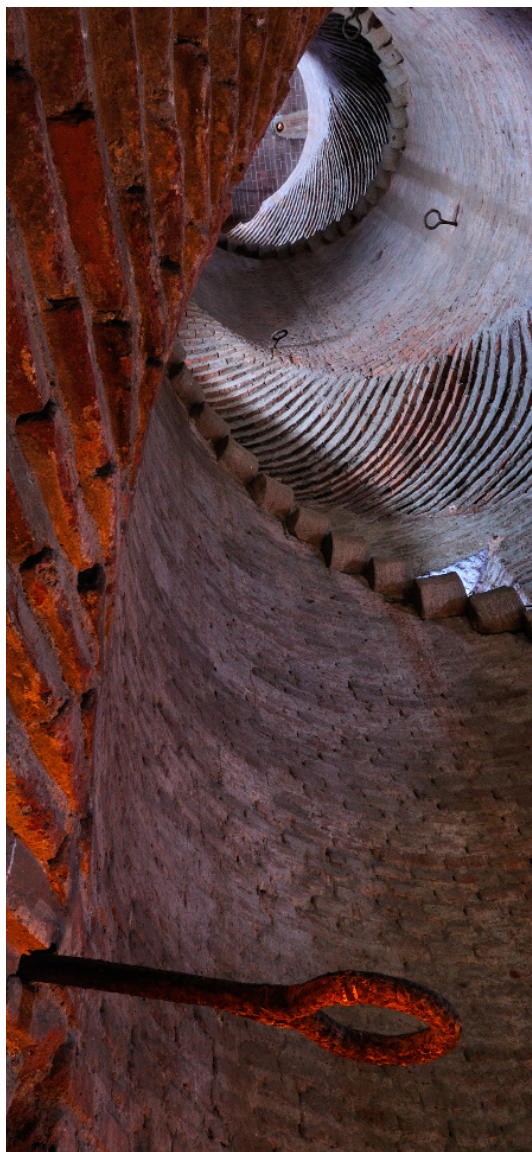


Fig. 28. La scala coclide vista dal basso verso l'alto..

<http://disegnarecon.univaq.it>

Questo porta ad ipotizzare che a Pietrasanta il campanile fosse una prova, un esperimento per affrontare il problema, già noto a Michelangelo, dei campanili per la nuova basilica di San Pietro che ne prevedevano due in facciata;³⁰ o più semplicemente poteva essere lo studio di una nuova tipologia di torre con scala autoportante.

Comunque non va dimenticato che in un carteggio di Michelangelo si parla di 'un campanile cavo in cui risuonassero le campane' e quello di Pietrasanta presenta caratteristiche che potrebbero essere collegate anche al problema dell'acustica. Ma questo è un altro tema che fa parte della ricerca che, come tale, è ancora in corso.



Fig. 29. Veduta da nord-est di Piazza Duomo a Pietrasanta.

NOTE

[1] Gli studi sul campanile sono iniziati con la tesi di laurea di Enrico Venturini di cui chi scrive è stata relatore; in seguito sono proseguiti con una ricerca approfondita che è ancora in corso.

[2] Donato Benti (Firenze 1470-1537) a Pietrasanta realizza varie sculture; non si conoscono opere architettoniche. I documenti testimoniano soltanto la realizzazione dei gradini in marmo della scala del campanile.

[3] Cfr. Venturini E., 2013, *Il segreto del campanile di San Martino. A Pietrasanta la mano di un genio nell'innovativa scala dall'architettura rivoluzionaria?*, Petrarzedizioni, Pietrasanta (LU).

[4] Il tema della scala a chiocciola nei primi decenni del Cinquecento conobbe un'accelerazione della sua fortuna in chiave di sviluppo sia morfologico che strutturale, ma anche di amplificazione sia retorica che quantitativa. Dalla rampa di Bramante (1507) nel cortile del Belvedere in Vaticano al progetto (mai realizzato) del nuovo palazzo mediceo di Firenze (1515) di Leonardo da Vinci che nel 1518 progettò lo scalone centrale del castello di Chambord sulla Loira, realizzato dopo la sua morte.

[5] Nel corso di questa ricerca il campanile è stato posto, fra le altre, a confronto con la rampa elicoidale del Bramante nel Belvedere Vaticano a Roma (1510-1513). Un accostamento che evidenzia ancora di più l'unicità della struttura in Versilia, mostrando come nelle due costruzioni siano state risolte in modo completamente differenti le medesime istanze architettoniche.

[6] Al contrario la rampa del Bramante è costruita come una volta ribassata che scarica il peso ai lati, cioè sulla muratura dell'edificio e sul colonnato trabeato che segue una geometria elicoidale ascendente; così come la tessitura del laterizio è omogenea e posta di testa

in tutta la parte aggettante. Senza nulla togliere alla capacità espressiva della geometria spiraloformale dell'architetto della fabbrica di San Pietro, che si presenta come un compendio di architettura ove tutti gli elementi sono armonicamente riconoscibili, è necessario sottolineare l'innovazione e la genialità della struttura pietrasantina.

[7] Già ampiamente trattata in Aterini B., 2013, *Il Campanile del Duomo di Pietrasanta: dalla complessità alla semplicità dell'idea progettuale/The bell tower of the Cathedral in Pietrasanta: from the complexity to the simplicity of the design concept*, in: DISEGNARE Idee Immagini, n. 47, Gangemi Editore, Roma.

[8] Aterini B., 2013, Op.cit. in: DISEGNARE Idee Immagini, n. 47, Gangemi Editore, Roma; Aterini B., 2010, *'Le geometrie nascoste nel campanile del Duomo di San Martino a Pietrasanta'*. In: AA. VV. 'Atti del 13 Congresso Internazionale di Expression Grafica Arquitectonica', Universitat Politècnica de Valencia editorial, Valencia (Es), pp. 59-64.

[9] Tramite l'utilizzo di laser scanner e la ripresa di punti topografici per controllo.

[10] Nell'ambito della Convenzione di Ricerca, Il campanile del Duomo di San Martino a Pietrasanta, stipulata fra la Parrocchia di San Martino ed il DIDA Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze, responsabile scientifico B. Aterini, aprile 2013.

[11] Cfr. Morolli G., *Eadem mutata resurgo: la vite della vita*, in E. Venturini, Op. cit. (pp. 386 - 397)

[12] Le superfici elicoidali sono generate da una curva direttrice che si sposta con moto elicoidale intorno ad un asse *h*. Fra esse le più note sono quelle generate per moto elicoidale di una retta o di una circonferenza e si definiscono rispettivamente: *elicoidi rigati* ed *elicoidi cerchiati*. Gli elicoidi rigati si differenziano in: *elicoidi rigati*

chiuso (retto ed obliquo) se la traiettoria elicoidale intorno all'asse *h* ha direzione verso un punto proprio; *elicoidi rigati aperti* (retto ed obliquo) se la traiettoria elicoidale intorno all'asse *h* ha direzione verso un punto improprio o all'infinito e, rispettivamente, se la retta o la circonferenza che percorre l'elica appartiene ad un piano perpendicolare od obliquo all'asse *h* dell'elica. Gli elicoidi cerchiati si suddividono in: *colonna tortile* con sezione costante all'infinito che si determina quando il centro di una circonferenza, appartenente ad un piano perpendicolare all'asse *h*, percorre una traiettoria elicoidale intorno all'asse *h* verso un punto improprio nello spazio; *serpentina* che si determina, invece, quando una circonferenza appartenente ad un piano perpendicolare all'elica, descrive con il suo centro intorno all'asse *h*, in direzione di un punto proprio od improprio nello spazio.

[13] Questa curva, studiata dallo scienziato greco nel II secolo a.C. per risolvere il problema della trisezione dell'angolo, veniva comunemente usata per ricavare l'affusolatura delle colonne: concetto vitruviano di cui oggi conosciamo la costruzione grazie ad un disegno di Leon Battista Alberti.

[14] Dallo studio è emerso che la rastremazione verso l'alto del vuoto misura 28 centimetri, cioè due teste di mattone (un mattone è alto 7, largo 14 e lungo 28 centimetri).

[15] Il ritrovamento della colonna Traiana è avvenuto a Roma nei pressi dell'alloggio di Michelangelo. Appare plausibile che egli sia stato fra i primi a prenderne visione, poiché sin da giovane aveva fama di "scoprire come gli antichi". (...)

[16] Il Piede romano misura 29,56 centimetri.

[17] Equivalenza fra il modulo di 18 Palmi romani e quello di 13 1/2 in Piedi romani (1 Palmo = 22,33 cm = 3/4 Piede).

[18] Molte dimensioni risultano

proporzionate con esattezza dalla frazione in Palmi romani del modulo; ad esempio: il lato del plinto del basamento misura 36 1/2 Palmi, l'altezza del basamento fino all'asse del primo astragalo è 4 Palmi esatti; la larghezza della pedata del gradino della porta di accesso 2 Palmi; la sua l'altezza 1 Palmo; così come lo spessore del rivestimento in marmo del dado; la larghezza del dado è 34 1/2 Palmi e la sua altezza senza gli astragali è 11 1/2 Palmi, dimensione prossima a quella del diametro interno; l'altezza della cimasa compreso il secondo astragalo è 1 Palmo mentre la sua larghezza a meno di Palmo è la stessa dello zoccolo 1 pari a 36 1/2 Palmi; la porta di entrata è larga 6 Palmi e alta 11, le parti del dado restanti ai suoi lati sono esattamente 14 1/4 Palmi.

[19] In quel periodo Michelangelo si trovava nella zona a scegliere i marmi per la tomba di papa Giulio II che aveva progettato usando come unità di misura il Palmo romano, commercialmente suddiviso in 12 once (1 oncia = 1,86 cm).

[20] Ad esempio: il davanzale del finestrone ha quota 128 Palmi, il piano di calpestio della cella campanaria ha quota 100 Palmi. Lo spessore dello sbalzo che sorregge i gradini della scala si mantiene costante pari ad un modulo di 18 Palmi per 18, che vale anche per il diametro esterno del vano scala mentre quello interno è Palmi 11 1/2. Il gradino in marmo della scala a chiocciola è largo 4 Palmi e alto circa 1 Palmo e ne sporge 1/2 dalla parete interna del vano scala, le cui finestre sono alte 5 Palmi e larghe Palmi 4. La volta sul vestibolo di entrata si estende per 9 Palmi dal muro della porta al bordo del pozzo del vano scala.

[21] Un esempio pratico: dal momento che per ogni Palmo di altezza occorrono quattro mattoni, moltiplicati per 150 abbiamo 600 strati di mattoni. Ipotizzando che sia stato posato, minimo, un piano al giorno si possono stimare circa seicento giornate di lavoro; considerando sei

giorni lavorativi si contano cento settimane pari a due anni circa.

[22] Cioè 152 palmi e mezzo

[23] I lavori ebbero un brusco arresto a causa della morte di Donato Benti, collaboratore di Michelangelo, che dirigeva il cantiere.

[24] L'altezza totale della Colonna Traiana è pari a 135 Piedi romani (40,15 metri), cioè 180 palmi. Con un quinto avvistamento la scala avrebbe avuto 216 gradini arrivando alla quota di 40,19 metri. La sola colonna (base, fusto e capitello) misura precisamente 100 Piedi, cioè 133 palmi. L'analogia è indubbia.

[25] Attualmente i gradini sono 111 su 3 avvistamenti, con 37 gradini per avvistamento: misura che si concilia con la media dei 36.

[26] Michelangelo viveva a Roma proprio nei pressi delle colonne imperiali.

[27] Cfr. Morolli G., *Eadem mutata resurgo*, Op.cit.

[28] Cfr. Luschi C.M.R., *Dal progetto al cantiere geometrie della forma. Il canone mensorio e l'esecuzione in cantiere come disegno di progetto*, saggio in appendice al volume Venturini E., Op cit. (pp. 380 - 389).

[29] Se si pensa a come gli scultori traggono da un cubo di marmo la curva di una voluta, segnandone i punti notevoli di tangenza, potremmo capire quanto fosse prassi gestire i rapporti fra curva raggio e punto di tangenza (v. Leon Battista Alberti, *De Statua*, 1464).

[30] Di cui conosciamo i progetti di Bramante del 1506 e di Antonio da Sangallo il Giovane del 1520.

BIBLIOGRAFIA

Argan, Giulio C.; Contardi, Bruno (1990), *Michelangelo architetto*, Electa, Milano.

Aterini, Barbara (1995), *La Prospettiva Parallela*, Alinea ed., Firenze.

Bartoli, M. Teresa (1997), *Le ragioni geometriche del segno architettonico*, Alinea ed., Firenze.

Bini, Marco; Luschi, M. R. Cecilia; Bacci, Andrea (2005), *Il Castello di Prato: strategie per un insediamento medioevale*, Alinea ed., Firenze.

Boyer, Carl B. (1980), *Storia della Matematica*, Mondadori, Milano.

Mussolin, Mauro; Altavista, Clara (2009), *Michelangelo architetto a Roma*, Silvana Editoriale, Milano.

Venturini, Enrico (2013), *Il segreto del campanile di San Martino. A Pietrasanta la mano di un genio nell'innovativa scala dall'architettura rivoluzionaria?*, Petrarzedizioni, Pietrasanta (LU).