

Architettura e matematica: mille anni di motivi geometrici

Kim Williams

Nexus Network Journal

Sunto

I popoli di tutte le culture e in tutte le epoche hanno usato motivi geometrici come ornamento. Prendendo spunto da riflessioni intorno alle scienze e dalla psicologia della percezione dei motivi geometrici nell'arte, Kim Williams esamina il ruolo della geometria nella storia dell'architettura e in particolare nei pavimenti dei "Cosmati", una famiglia di artigiani marmisti attivi nell'area romana nel tardo Medioevo italiano. L'applicazione di motivi geometrici nei pavimenti cosmateschi come "mappa" dell'architettura sarà poi confrontata con i pavimenti moderni dell'architetto veneziano Carlo Scarpa e dell'artista londinese Tess Jaray, per evidenziare come la percezione dei principi insiti nell'ordine e nei motivi sia cambiata dopo circa mille anni.

Introduzione

Le applicazioni estetiche di motivi geometrici sono universali: in ogni epoca, in ogni cultura troviamo le forme geometriche che abbelliscono sia l'uomo sia l'ambiente in cui vive. Riconoscere i vari stili della decorazione geometrica ci permette di identificare la cultura di appartenenza: sappiamo distinguere, ad esempio, i motivi geometrici del popolo Navajo da quelli islamici. Ma, a parte le differenze specifiche, l'applicazione della geometria come decorazione accomuna tutte le culture.

L'uso della geometria—forse l'origine della geometria stessa—deriva dalla necessità umana di distinguere l'ordine dal caos: la tendenza a riconoscere una struttura non perfetta e a migliorarla appartiene solo agli uomini. Un tale processo di regolarizzazione si vede chiaramente nei primissimi pavimenti decorati, quelli di Olinto, in Macedonia, risalenti a circa 6000 anni fa. Questi pavimenti in ciottoli bianchi e neri si sviluppano rapidamente da una disposizione pressoché casuale ad una disposizione regolare. Una disposizione non ordinata di ciottoli di due colori pone alla mente umana quasi la sfida di creare un ordine dove non esiste (fig. 1).

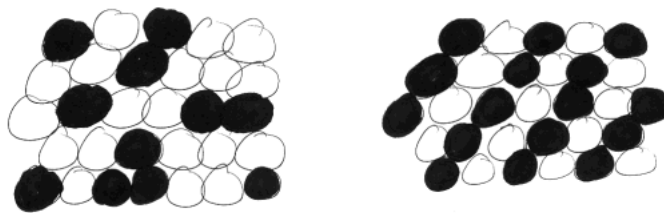


Fig. 1. Ciottoli in due colori sfidano l'uomo a creare un ordine dal caos

Per capire perché questo avviene bisogna ricordare che la capacità umana di riconoscere le strutture è uno dei nostri istinti di sopravvivenza. Nell'uomo primitivo la capacità di distinguere la tigre dal fogliame nella giungla era letteralmente una questione di vita o di morte. Come nel caso degli altri nostri istinti di sopravvivenza—il mangiare, il riprodursi—lo sviluppo della capacità di riconoscere una struttura divenne poi un piacere fine a se stesso. Così nacque l'estetica.

Il rapporto tra percezione e struttura è fondamentale per l'uomo. Scriveva Rudolf Arnheim, *“Percezione è la scoperta di struttura. La struttura ci dice quali sono i componenti delle cose e secondo che tipo di ordine interagiscono.”*¹

Come dimostra il brano che segue, la mente umana è capace di riconoscere anche una struttura molto offuscata:

Snoedo una rcireca ftaa all'uginreistà di Cmarbdige, l'odrnìe dllee ltereè che cmooognono una pralao non ipmrtoa; l'ucina csoa esesznaìe e che la pirma e l'utlmia sanio al psoto gusito. Il rsiluatto può esesre un coas taotle e il tseto ruicsierbbe ugaumlente lgegìblie. Quseto è prehcé la mnete unama non lgege ltetrea per ltretea ma preecpsice la pralao itnrea.

Come le lingue, architettura e matematica sono sistemi altamente strutturati di simboli astratti che, messi in relazione, comunicano significati precisi. Anche chi non ha un'educazione formale in architettura è in grado di distinguere un'opera di architettura da una costruzione qualsiasi. È facile riconoscere la differenza tra una villa di Palladio e il finto stile palladiano di un capannone commerciale (fig. 2).



Fig. 2. A sinistra, la Villa Cornaro di Andrea Palladio; a destra, un centro commerciale “palladiano”

Un aspetto particolare del rapporto tra l'architettura e la matematica è messo in evidenza dall'applicazione dei motivi geometrici nei pavimenti decorati. In un certo senso, il pavimento è ideale per una decorazione geometrica, essendo di solito la più grande superficie piana ininterrotta, a differenza di pareti e soffitti che sono interrotti da porte, finestre e costoloni. In un senso più profondo, però, la geometria è più di una semplice decorazione perché, quando viene sfruttata al meglio, funziona come una mappa a due dimensioni dello spazio architettonico tridimensionale. La disposizione di linee e punti nel pavimento ci può indicare, ad esempio, una direzione dello sguardo o del movimento; può scandire il ritmo del nostro movimento; può invitare a posizionarci in un punto ideale intorno al quale si spiega tutto lo spazio architettonico; può indicare una gerarchia degli spazi.

La decorazione geometrica ha anche un suo ruolo culturale, come notava l'architetto rinascimentale Leon Battista Alberti: *“Principalmente si consiglia di occupare l'intero*

¹ Vedi [Arnheim, 1987].

*pavimento con linee e figure musicali e geometriche, per modo che la mente dei presenti sia in ogni maniera attratta verso la cultura.*²

Pavimenti decorati come mappe dello spazio architettonico

Come ho potuto constatare in uno studio di qualche anno fa, è utile analizzare schematicamente gli edifici tramite dei diagrammi con delle linee e dei punti che rappresentano gli assi dei corpi architettonici e i punti delle loro intersezioni per poi capire come la decorazione dei pavimenti si modifica da epoca ad epoca secondo l'evoluzione del concetto dello spazio architettonico.³

In quest'occasione vorrei percorrere in breve lo sviluppo dell'architettura della chiesa cristiana dalla sua origine fino al rinascimento per scoprire in che modo i motivi geometrici sono stati impiegati come articolazioni degli spazi, e prendere poi in esame l'uso della geometria da parte di due artisti contemporanei. Questo ci permetterà di vedere in parte come l'applicazione della geometria all'architettura sia cambiata nei secoli e come si sia evoluta la nostra percezione della struttura geometrica stessa. Allo stesso tempo tale analisi ci permetterà di individuare gli aspetti comuni, quasi senza tempo, tra il lavoro degli artigiani del passato e quelli moderni: la ricerca di forma, di ritmo e di composizione è valida oggi come mille anni fa.

Dopo l'editto di Costantino, nel quarto secolo dopo Cristo, i primi architetti paleocristiani pensarono bene di dare un'espressione architettonica alla liturgia cristiana. Come punto di partenza scelsero la basilica romana, che non era un edificio religioso bensì un tribunale (fig. 3a).

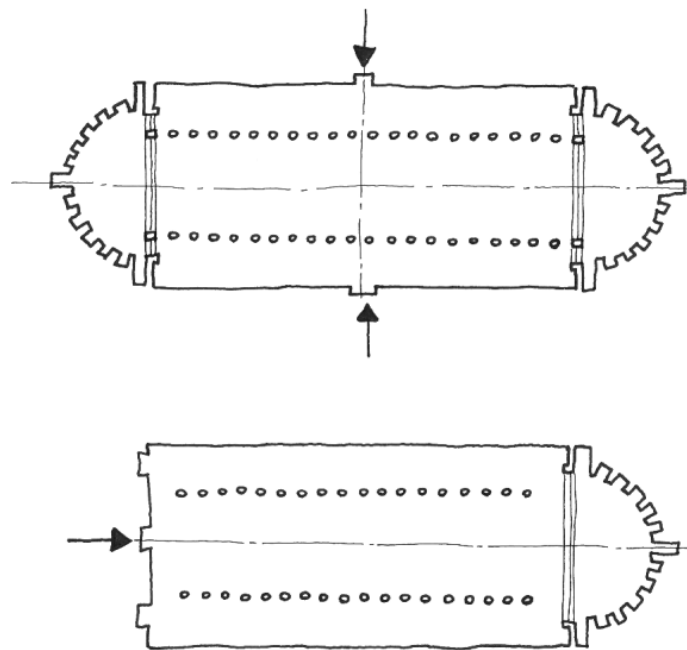


Fig. 3. a) la basilica romana; b) la basilica cristiana

² Vedi Alberti, *De re aedificatoria*, libro settimo, capitolo X, , pag. 608 e pag. 610.

³ Vedi [Williams, *Italian Pavements: Patterns in Space*, 1997].

La basilica romana, come tutta l'architettura romana, è caratterizzata dalla simmetria biassiale, con elementi simili sempre contrapposti, abside di fronte ad abside, colonnati di fronte a colonnati, portale di fronte a portale. Non è un'architettura dinamica, né vuole esserlo. Un tale equilibrio voleva esprimere la stabilità e la permanenza dell'impero romano.⁴ Gli adattamenti fatti alla basilica dagli architetti paleocristiani cambiarono radicalmente la dinamica della struttura. Essi soppressero un'abside e, chiusi gli ingressi sui lati maggiori, aprirono un ingresso principale sul lato minore opposto all'abside rimanente (fig. 3b). Così facendo, eliminarono un'asse di simmetria, facendo dell'altro asse un unico percorso dal portale all'altare. Così la basilica diventava una specie di corridoio, l'espressione lineare della liturgia che iniziava con una processione. Diventava anche un simbolo architettonico del pellegrinaggio terreno del cristiano dalla nascita (il portale) fino alla morte ed al paradiso (l'altare): Cristo come via della salvezza.

Nei pavimenti delle basiliche paleocristiane troviamo una decorazione che indica l'asse di simmetria come percorso o via. Nel duomo di S. Eufemia a Grado una sorta di "tappeto" in mosaico che raffigura le onde del mare percorre tutto l'asse longitudinale dal portale all'altare. Ad Otranto l'asse diventa il tronco di un albero che cresce per tutta la lunghezza della basilica. In San Clemente a Roma, gli artigiani chiamati Cosmati delineavano l'asse con un motivo lineare detto *guilloche*, composto di tondi di granito disposti in una linea e collegati tra loro da fasci di marmo bianco intrecciati. I motivi lineari nei pavimenti invitano lo spettatore a percorrere la via lungo la navata della chiesa, simbolo della vita terrena che finisce nella vita celeste.

I primi segni di una trasformazione sia del concetto dello spazio sia della sua espressione li troviamo nel Duomo di Modena, dove la linea dell'asse è letteralmente lacerata dalle strisce bianche e rosse del marmo di Verona poste in perpendicolare all'asse stesso. Cambia così radicalmente la percezione dello spazio, perché non solo viene distolto lo sguardo dall'altare principale per attirare l'attenzione sugli affreschi e sugli altari laterali, ma risulta scandito con un ritmo diverso il passaggio dal portale all'abside.

Nel tardo Medioevo nuove esigenze liturgiche e la necessità di collocare più altari risultarono nello sviluppo del transetto, un corpo trasversale che incrocia la navata prima dell'altare principale, trasformando la basilica in una croce detta "latina", cioè con il braccio longitudinale più lungo di quello trasversale. L'introduzione del transetto non solo aggiunge un secondo asse (non un asse di simmetria, quanto piuttosto organizzativo, poiché la simmetria della croce latina è sempre speculare) ma introduce anche un nuovo punto di riferimento nella pianta, l'incrocio dei due assi. Questo punto diverrà sempre più importante, per poi raggiungere il massimo della sua espressione nel Rinascimento con lo sviluppo delle piante dette "a croce greca", cioè con le quattro braccia uguali e una simmetria biassiale. Un ulteriore sviluppo della croce greca è la pianta centrale, basata su un cerchio o su un poligono.

Il Rinascimento, l'età dell'Umanesimo, vede nella pianta centrale l'espressione del cosmo con l'uomo al suo centro. Il punto centrale, come il punto di fuga della

⁴ Si veda a proposito [Zevi, 1948].

prospettiva, rappresenta l'infinità, Dio stesso, perciò lo spettatore è invitato a posizionarsi nel centro dello spazio per osservare l'architettura che si spiega intorno a lui.

La Sagrestia della Basilica di S. Spirito a Firenze si avvale di tre motivi per segnalare l'importanza del punto centrale (fig. 4). Il primo è il medaglione colorato con lo stemma, l'unico punto di colore nello spazio grigio e bianco, che attrae subito l'occhio dello spettatore. Il secondo motivo è costituito dai raggi che collegano il perimetro dello spazio con il centro. Il terzo è il pavimento a scacchi che diminuiscono con gioco prospettico man mano che si avvicinano al centro.

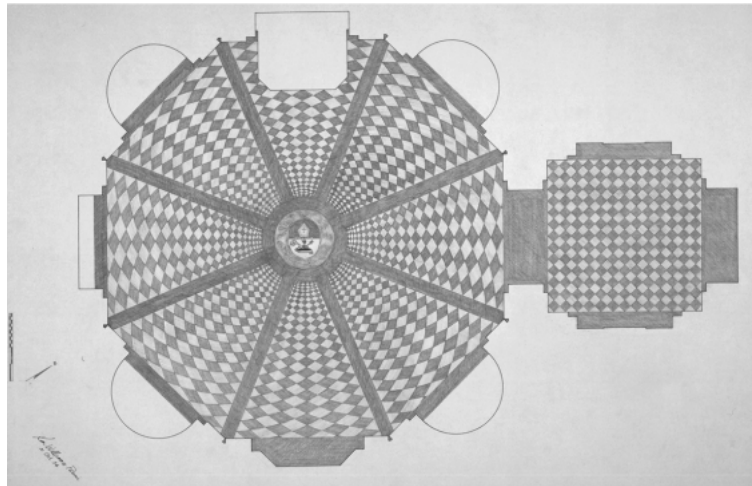


Fig. 4. Il pavimento della sagrestia della basilica di S. Spirito a Firenze

Terminiamo qui il breve discorso sullo sviluppo architettonico della chiesa cristiana. Lo scopo era di illustrare come il concetto architettonico si traduceva in una rappresentazione geometrica e astratta delle forme, attraverso linee e punti, e la successiva espressione attraverso l'applicazione di motivi geometrici per creare una mappa dello spazio.

Pavimenti geometrici moderni

Cambiata la società, cambiate le culture, cambiati i tempi, rimane costante il desiderio dell'architetto di articolare tramite la decorazione gli spazi architettonici e urbanistici.

L'artista londinese Tess Jaray ha studiato a lungo l'applicazione di motivi geometrici prima nella sua arte astratta e poi nei suoi progetti per spazi pubblici.⁵ Nel suo progetto per la pavimentazione della zona intorno alla cattedrale di Wakefield in Inghilterra la Jaray ha usato motivi geometrici per distinguere la zona della cattedrale dalla zona commerciale che la circonda (fig. 5). Nello stesso tempo, la sua scelta di usare un solo materiale (semplici mattoni rettangolari con proporzione 1:2 o 1:3) e due soli colori (blu e beige), unisce le due zone in un articolato insieme urbanistico né banale né chiassoso. In altri progetti, la Jaray ha applicato motivi geometrici a grande effetto per scandire il passaggio lungo un ponte e dare definizione e identità alla Centenary Square, una piazza centrale nella città di Birmingham. I pavimenti della Jaray

⁵ Vedi [Williams 2000].

funzionano nello stesso modo di quello dei Cosmati, segnalando zone significative, stabilendo gerarchie di spazi e indicando centri per l'attenzione dello spettatore.



Fig. 5. Gli spazi pubblici intorno alla cattedrale di Wakefield progettati da Tess Jaray

Metodi di composizione

È interessante confrontare i pavimenti odierni della Jaray con quelli dei Cosmati di mille anni fa. In principio, l'attività è la stessa: la tassellatura del piano con combinazioni di forme geometriche. I parametri artistici sono molto differenti, ma i risultati finali sono ugualmente belli e efficaci.

Le invenzioni geometriche dei Cosmati nascevano da intuizioni di natura pratico-costruttiva: i metodi di posa dei pezzi del mosaico ispiravano la creazione di motivi di riempimento dello spazio.⁶ Nel pezzo base, in marmo bianco, venivano scavati gli alloggiamenti che accolgono esattamente, senza sporgenze, i tasselli di marmo colorato che formano un motivo periodico. Per completare il lavoro, le tracce nel marmo venivano riempite con un fondo cementizio sul quale venivano pressati i tasselli colorati. I Cosmati creavano una prima matrice in cui venivano collocati i pezzi più grandi del motivo. Il passaggio seguente consisteva nel riempire gli spazi vuoti ricavandovi gli alloggiamenti destinati ad accogliere dei moduli nella scala di grandezza immediatamente inferiore alla precedente. Alla fine di questo secondo passaggio gli spazi ancora liberi potevano essere riempiti con pezzi che vi si incastrassero perfettamente, oppure, se lo spazio rimanente lo permetteva, potevano esservi collocati pezzi nella scala immediatamente inferiore che saturano il vuoto solo parzialmente. Questo vuoto poteva essere poi lasciato libero o riempito con pezzi che vi si incastrassero perfettamente (fig. 6). In altre parole, i Cosmati cominciavano il loro lavoro da una scala più grande per finire a scale sempre più piccole. Si disponeva di tante forme geometriche—quadrati, triangoli, rettangoli, rombi, esagoni, cerchi—e di quattro colori—bianco, giallo, rosso, verde—per creare dei pavimenti di una ricchezza straordinaria.

⁶ Vedi [Williams, *The Pavements of the Cosmati*, 1997].

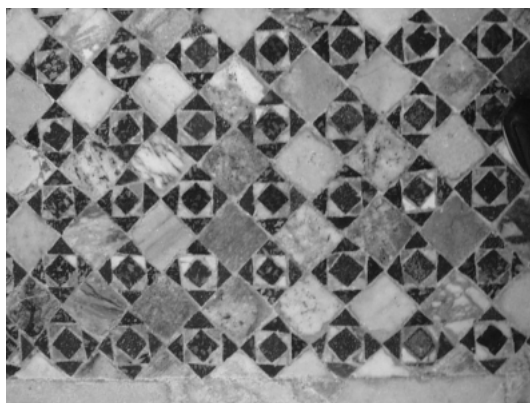


Fig. 6. Un motivo geometrico periodico tipico dei Cosmati

La Jaray, artista contemporanea, utilizza un vocabolario formale fortemente minimalista che la pone veramente agli antipodi rispetto alla ricca varietà di forme usate dai Cosmati. Lei stessa ci spiega come i suoi motivi nascano da considerazioni sulla natura dell'unità modulare:

Il mattone più comune ... è utilizzato nella proporzione 3:1, cioè tre mattoni in piedi accostati, occupano esattamente la grandezza di uno in orizzontale.... Per ottenere motivi di effetto ornamentale con queste proporzioni è necessario un grande dispendio di energie. La difficoltà sta nel riuscire a introdurre nel motivo dinamiche visive diverse dalla dialettica orizzontale-verticale, nell'indurre movimenti obliqui in grado di suggerire dinamismo alla composizione... [M]attonelle con la proporzione 2:1 ... implic[ano] la possibilità di una geometria tutta nuova.⁷

Da questo limitato vocabolario di forme la Jaray è in grado di trarre ricche configurazioni. Nella piazza, immediatamente adiacente la cattedrale di Wakefield, la pavimentazione forma un pattern a croce. Sotto l'apparentemente semplice elemento cruciforme sta una complessa disposizione delle mattonelle. Il disegno della tassellatura formata dalle mattonelle stesse risulta un po' oscurato dal forte contrasto di colore tra le mattonelle color beige che formano le croci ed il profondo blu indaco delle mattonelle del fondo, ma il motivo delle mattonelle è nondimeno un importante elemento che permette allo spettatore di valutare visivamente le dimensioni dello spazio urbano della piazza.

La fig. 7 mostra quanto sia importante questo contrasto nella lettura del disegno del pavimento. Nella fig. 7a si vede il motivo di mattonelle che pavimentano la zona della cattedrale; nella fig. 7b si vede come l'uso che la Jaray fa delle mattonelle colorate permette ai nostri occhi di percepire il motivo soggiacente della croce.

In questo caso il motivo soggiacente le mattonelle è oscurato dal più ovvio motivo di croci chiare su fondo scuro, ma la pavimentazione stessa di mattonelle epurata da qualsiasi chiaroscuro e dal colore è ugualmente affascinante. Un matematico utilizza la parola "pavimentazione" per indicare la copertura di una superficie (nel nostro caso il

⁷ Vedi [Williams, 2000].

piano) con forme chiuse in modo tale che non rimangano aree vuote o non si creino sovrapposizioni. Questo naturalmente corrisponde esattamente al desiderio di chiunque voglia pavimentare l'area di una piazza.

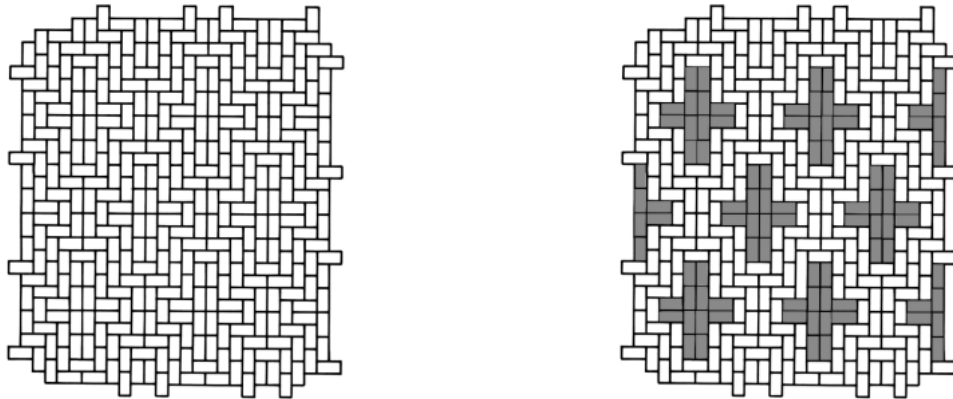
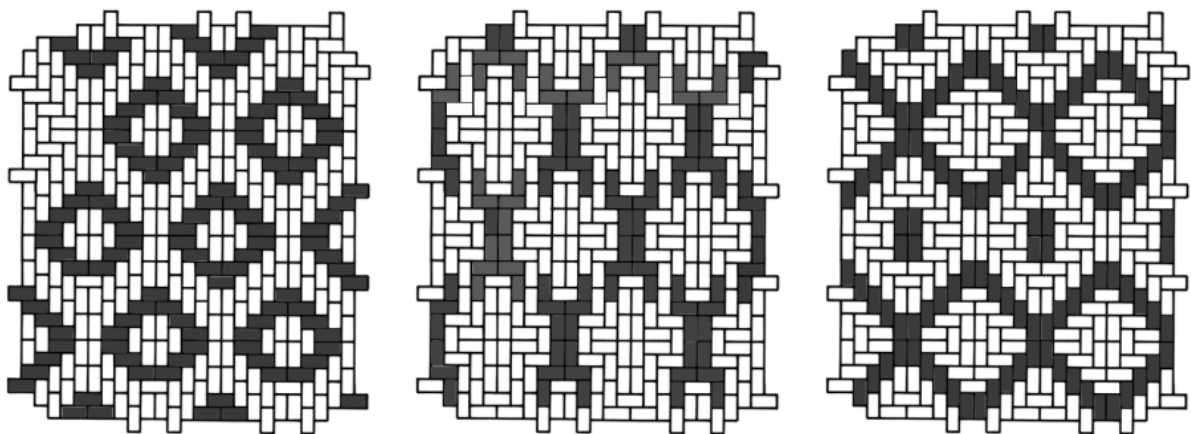


Fig. 7. a) a sinistra, il motivo di mattonelle che pavimentano la zona della cattedrale; b) l'uso delle mattonelle colorate permette la percezione del motivo soggiacente della croce

Sull'importanza della simmetria nel suo lavoro la Jaray ha scritto:

*La simmetria, fin dal principio è stata un elemento fondamentale nel mio lavoro. Vi è presente in molti modi – diretto e ovvio, allusivo obliquo, implicito piuttosto che esplicito, così che quando una simmetria si rivela altre devono essere cancellate.*⁸

Un esercizio interessante è quello di cercare attraverso il contrasto dei colori altri motivi geometrici possibili nella matrice creata dalla composizione delle mattonelle della Jaray (figg. 8, 9, 10).



Figg. 8, 9, 10. Altri motivi geometrici possibili dalla stessa composizione di base

⁸ Tess Jaray, corrispondenza personale.

Vecchi o nuovi?

Nonostante i mille anni che separano i Cosmati dagli artisti più recenti, alcune ricerche artistiche compiute dai Cosmati sono ancora oggi attuali.

Nella loro ricerca sulla tassellatura del piano, il metodo costruttivo dei Cosmati implicava, come detto prima, la creazione di motivi di riempimento degli interstizi lasciati da una prima matrice determinata dalla posa dei tasselli più grandi. In alcuni casi era la forma dello stesso spazio da riempire a dettare le forme possibili di riempimento. Nell'esempio in fig. 11, l'inserimento di un triangolo equilatero nel tondo dettava il riempimento con altri triangoli simili, un processo che prevede dapprima la decomposizione di un modulo nei suoi sub-moduli congruenti e quindi la dilatazione della configurazione risultante fino a che i sub-moduli abbiano raggiunto le dimensioni dell'originale. Il procedimento satura il piano attraverso decomposizioni e dilatazioni iterate *ad infinitum*. Se il modulo di partenza è il triangolo equilatero, ne risulta un motivo che oggi riconosciamo come il setaccio di Sierpinski.

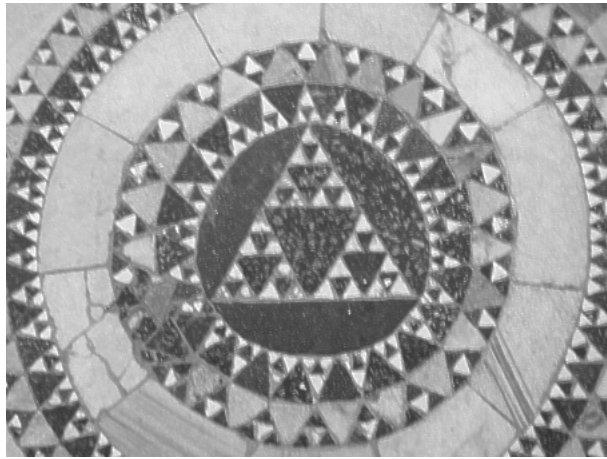


Fig. 11. Il setaccio di Sierpinski anticipato dai Cosmati

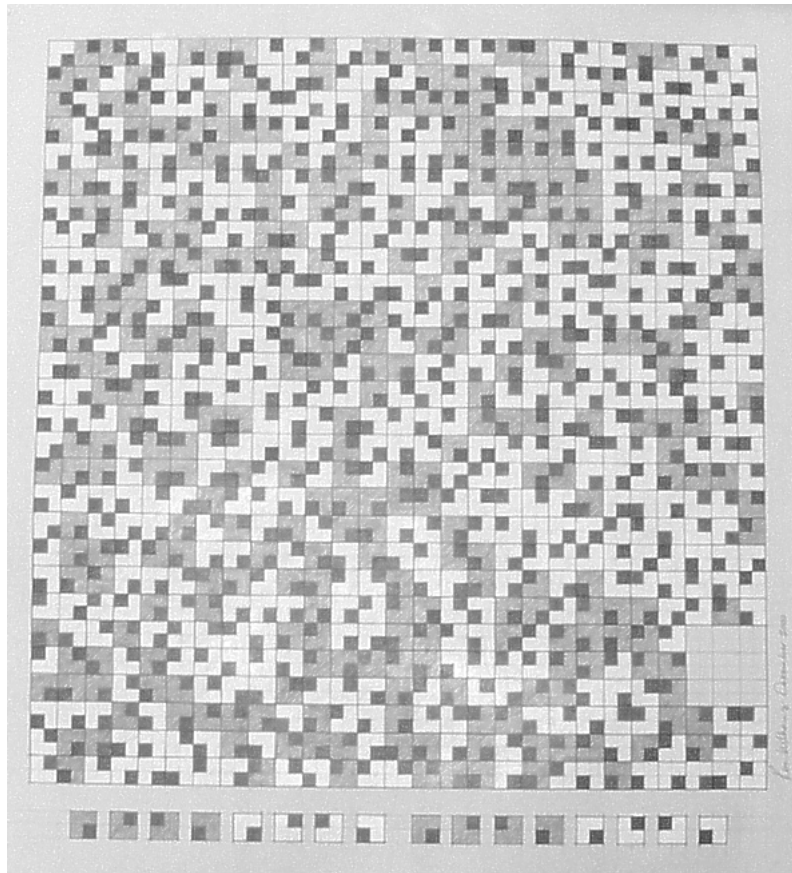


Fig. 12. Il pavimento progettato da Carlo Scarpa per l'ingresso al Palazzo Querini Stampalia di Venezia

Altre ricerche artistiche, invece, ci hanno portato molto lontano dalle idee di mille anni fa. Interrogandoci su cosa oggi sia mutato nella progettazione dei pavimenti rispetto alle opere dei Cosmati, ritengo di poter sottolineare che l'evoluzione più interessante è costituita da un affinamento della capacità di valutare cosa sia riconoscibile come pattern, l'acquisizione cioè di un più sofisticato "senso dell'ordine". Possiamo considerare il pavimento che l'architetto italiano Carlo Scarpa progettò, nel 1961, per uno spazio relativamente piccolo all'interno del museo del Palazzo Querini Stampalia a Venezia, come un segno di questo mutamento (fig. 12). È difficile immaginare un progetto di pavimentazione più lontano da quello dei Cosmati, che probabilmente sarebbero rimasti alquanto perplessi di fronte a questo pavimento contemporaneo.

Il modulo del pavimento è un quadrato di cui un quadrante è costituito da un area di colore e/o texture contrastante; visivamente si può percepire come una forma a L completata con un quadratino. Nel Palazzo Querini Stampalia, Scarpa ha utilizzato due marmi chiari (crema e rosa-beige) per la forma a L e due più scuri per il quadratino (rosso e verde) combinati in quattro diversi moduli colorati. Le quattro rotazioni di ognuno di questi moduli danno 16 diverse unità orientate. Il motivo complessivo del pavimento è il risultato della combinazione di queste 16 unità.

A prima vista può sembrare che le unità nel pavimento di Scarpa siano disposte a caso. I suoi schizzi per il disegno del pavimento ci mostrano invece quanta cura egli abbia posto nel disporre e codificare, secondo i colori, le singole unità affinché niente nella

realizzazione fosse lasciato al caso.⁹ I disegni ci indicano con chiarezza quanto Scarpa abbia meditato su come disporre le unità per ottenere un effetto complessivo di marezzatura (a richiamare il motivo dell'acqua nel canale a fianco). Ma anche se non disponessimo dei disegni cui riferirci, avremmo comunque la prova che i moduli non sono messi a caso osservando quali combinazioni non compaiono mai. La prima configurazione della fig. 13, ad esempio, compare una sola volta, mentre la seconda ricorre solo cinque volte. Scarpa utilizza i colori per scompaginare questi due raggruppamenti fortemente simmetrici. Infatti la configurazione della fig. 13 non compare mai con i tre elementi che formano la L della stesso colore (invito il lettore a cercare altri esempi).

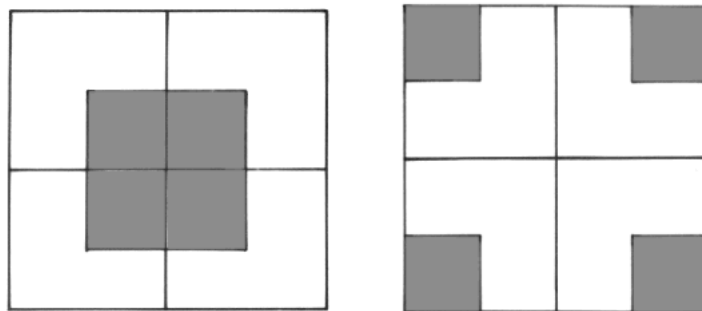


Fig. 13. Le due disposizioni del modulo di Scarpa che non compaiono nel pavimento

Benché tra i pavimenti di Scarpa e dei Cosmati vi siano molte più differenze che somiglianze, vi è un tipo di simmetria che li accomuna: quella di auto-somiglianza, che appare in forma più compiuta nei Cosmati e in modo più embrionale in Scarpa. La porzione a L del modulo di Scarpa assomiglia alla sedia o L-modulo, uno dei “rep-tiles” di Solomon Golomb.¹⁰ Un rep-tile è un poligono che può essere decomposto in sub-moduli congruenti, ognuno simile all'originale. La fig. 14 ci mostra che entrambi gli L-moduli e il triangolo equilatero sono rep-tiles.

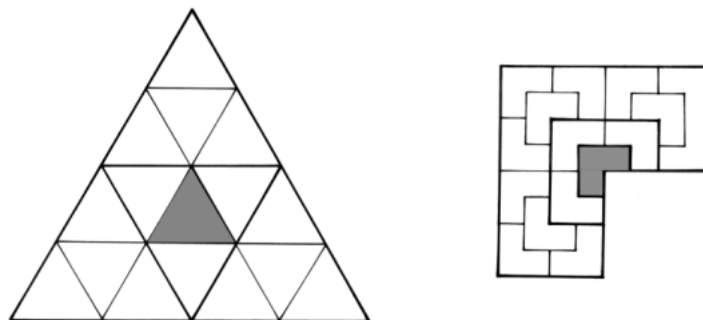


Fig. 14. Gli L-moduli e il triangolo equilatero come esempi di rep-tiles

⁹ Per i progetti di Carlo Scarpa per il Palazzo Querini Stampalia, vedi [F. Dal Co e G. Mazzariol, 1984] e [M. Mazza, 1996].

¹⁰ Per i rep-tiles, vedi [Schattschneider, 1993].

Conclusioni

Noi condividiamo con i nostri antenati il piacere della decorazione con motivi geometrici. Il motivo geometrico decorativo in architettura è non solo utile ma anche bello. Le pavimentazioni di cui abbiamo parlato in queste pagine adempiono in modo mirabile allo scopo di creare un tessuto connettivo per i rispettivi mondi: i Cosmati collegano l'ingresso all'altare della basilica cristiana per indicare un percorso; Tess Jaray connette spazi urbani su vastissima scala che senza motivi apparirebbero sterili e inospitali come molti spazi creati nel Novecento; Carlo Scarpa collega idealmente l'interno di un museo veneziano con i riflessi delle acque del canale che gli scorre accanto.

A quanto pare, i motivi geometrici conservano tuttora il loro fascino per l'essere umano. Forse la ragione sta in ciò che Gombrich chiama "il fatto più fondamentale nell'esperienza estetica": "Il piacere spesso sta da qualche parte tra la monotonia e la confusione".¹¹

Ringraziamenti

L'autrice ringrazia il prof. Franco Pastrone per il cordiale invito a presentare questo lavoro all'Associazione Subalpina Mathesis, e ringrazia Federico Focè per le correzioni linguistiche.

Bibliografia

- L. B. Alberti, *De re aedificatoria*, testo latino e traduzione a cura di Giovanni Orlandi, introduzione e note di Paolo Portoghesi, Il Polifilo, Milano 1966.
- R. Arnheim, *Intuizione e intelletto nuovi saggi di psicologia dell'arte*. Feltrinelli 1987.
- F. Dal Co, G. Mazzariol, *Carlo Scarpa 1906-1978*, Electa, Milano, 1984.
- M. Mazza (a cura di), *Carlo Scarpa alla Querini Stampalia*, Il Cardo, Venezia, 1996.
- D. Schattschneider, *The Fascination of Tiling*, in *The Visual Mind*, a cura di M. Emmer, MIT Press, Cambridge (USA), 1993.
- K. Williams, *Environmental Patterns: Paving Designs by Tess Jaray*, Nexus Network Journal 2 (2000), pp. 87-92.
- K. Williams, *The Pavements of the Cosmati*, Mathematical Intelligencer 19 (Winter 1997), pp. 41-45.
- K. Williams, *Italian Pavements: Patterns in Space*. Anchorage Press, Houston, 1997.
- B. Zevi, *Saper vedere l'architettura*. Einaudi, Torino, 1948.

Torino, 13 gennaio 2005

¹¹ Ernst Gombrich, *Il senso dell'ordine*, Einaudi 1984.