

# Complessità architettonica ed estetica computazionale: una nuova unità di misura

Lorenzo Pellegrini

## *Abstract*

La razionalizzazione geometrica dell'architettura moderna, con la predilezione di una geometria euclidea pura e la riduzione degli apparati ornamentali, ha condotto nei decenni ad una contrazione del numero di misure esistenti nei prospetti con un'inevitabile riduzione e ripetizione del numero di scale architettoniche. I moduli architettonici non vengono più scalati sequenzialmente per arricchirne l'elevato ma ripetuti serialmente per semplificarne le informazioni visive. Ma la complessità data dalla molteplicità di scale è un parametro tipico delle ambientazioni naturali cui l'uomo, nonostante i millenni di civiltà, è ancora biologicamente legato e diversi studi neuroscientifici hanno dimostrato una predilezione per ambientazioni ricche di dettagli rispetto a scenari minimali. In cosa consiste la complessità architettonica? È una qualità tipica dell'architettura tradizionale esprimibile solo tramite l'ornamento o è ascrivibile anche alla sperimentazione di geometrie e texture dell'architettura contemporanea? Come possiamo misurare questo parametro? Lo scopo di questa ricerca è quello di provare a quantificare la complessità architettonica con gli strumenti dell'estetica computazionale da qualche anno utilizzati per quantificare la complessità visiva delle immagini negli studi di neuromarketing.

## *Parole chiave*

Complessità visiva, dettaglio, elaborazione di immagini, estetica computazionale, coding.



Dettaglio decorativo  
 sulla facciata di un  
 palazzo haussmasniano  
 a Parigi, XIX sec. Foto  
 dell'autore.

## Introduzione

Negli ultimi anni, molti ricercatori hanno rivolto la loro attenzione al potenziale impatto fisiologico dell'organizzazione visiva dell'ambiente circostante, sia naturale che artificiale [Coburn et al. 2017, pp. 1521-31]: è stato dimostrato che l'ambiente naturale esercita effetti positivi, a volte anche attraverso la semplice visione di immagini, sull'umore, riducendo lo stress, migliorando la concentrazione e la memoria al lavoro [Kaplan 1995, 169-82], la salute percepita e persino, sorprendentemente, l'autostima. Altri risultati interessanti includono l'associazione dell'esposizione a forme naturali con una riduzione del comportamento criminale e la scoperta, ormai acclarata, di un miglioramento del recupero dopo un intervento chirurgico.

Questi risultati supportano l'ipotesi della "biofilia" [Kellert, Wilson 1993, p. 484], teoria che suggerisce che gli esseri umani abbiano un'affinità innata per gli altri organismi viventi e per l'ambiente naturale in generale, e indicano che l'esposizione a tale ambiente può influenzare la salute mentale e fisica [Ellard 2015, p. 38]. Di conseguenza, indagare le caratteristiche visive "strutturali" che, presumibilmente, mediano questi effetti è un compito di fondamentale importanza sia scientifica che pratica. Queste caratteristiche non si trovano solo in natura ma anche negli ambienti artificiali, sia come risultato di uno sforzo consapevole per incorporarle in un tipo di progettazione "biofilica" o nell'architettura premoderna (fig. 1). In quest'ultima tali caratteristiche sono insite come parte integrante del progetto o, nei casi più semplici, emergono dai materiali e dalle modalità costruttive utilizzate: l'esistenza di questo ordine strutturale nell'architettura tradizionale potrebbe anche essere un riflesso dei modelli strutturali e funzionali del nostro sistema nervoso [Goldberger 1996, pp 99-104]. La geometria della natura sembra aver avuto un profondo impatto sul modo in cui ci connettiamo alle forme naturali ed il lavoro pionieristico di Christopher Alexander [Alexander et al. 1977] e Nikos Salingaros ha identificato una serie di parametri che codificano questa "connessione" tra lo spettatore e l'ambiente. Un fattore importante è la presenza di caratteristiche frattali. Il termine frattale, introdotto da Mandelbrot [Mandelbrot 1967, pp 636-8], descrive una struttura che presenta autosimilarità a diversi livelli, dal più grande al più piccolo (fig. 2). I frattali perfetti sono costruiti puramente matematici, ma frattali statisticamente auto-simili, dove le ripetizioni non sono esatte, sono ovunque in natura, dalle coste alle galassie e dai



Fig. 1. Chiesa del Carmelo di Porto, Portogallo XVIII sec. Foto dell'autore.

rami degli alberi alle vie aeree polmonari e ai vasi sanguigni. È stato dimostrato che l'esposizione a determinati modelli visivi frattali in natura, architettura o nelle arti visive ha effetti fisiologici significativi. Il nostro cervello è perfettamente sintonizzato sulla complessità visiva dell'ambiente naturale, in particolare per rispondere positivamente ai più alti livelli di complessità. I frattali sono una componente importante di questo effetto, ma non rappresentano in alcun modo l'intera gamma di queste qualità. Questa "complessità organizzata" [Salingaros, Mehaffy 2010] è definita anche da una gerarchia di scale, dalla presenza di contrasti locali, simmetrie ripetute, anche di colori ed altre caratteristiche.

Parallelamente alle tendenze razionaliste e minimaliste anche l'architettura contemporanea è tornata ad abbracciare la complessità: il parametricismo di Gehry e Hadid la celebra nella grande scala con la complessità matematica delle superfici non lineari a doppia curvatura; sulla piccola misura vividezza di texture e materiali naturali di un certo regionalismo critico di matrice sud-americana riescono ad esprimerla anche nel dettaglio delle architetture più minimaliste (fig. 3).

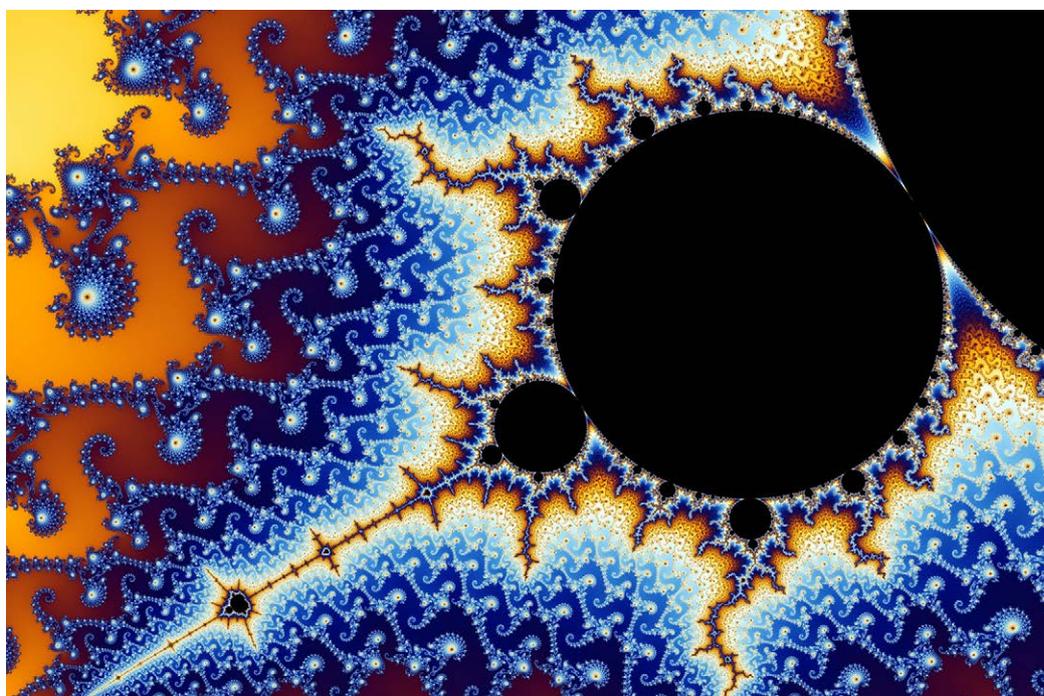


Fig. 2. Rappresentazione grafica del frattale di Mandelbrot. (Wikimedia.org).

### L'estetica della complessità visiva

Complessità visiva e la bellezza estetica sono correlate [Birkhoff 1933]. In uno dei primi lavori sulla complessità visiva, Birkhoff definisce la misura estetica  $M$  di un oggetto d'arte come una funzione del rapporto tra il suo ordine e la complessità ( $M=f(O/C)$ ), dove  $O$  sta per ordine, spesso presente nelle forme di armonia o simmetria e  $C$  sta per complessità. In base alla sua formula, la misura estetica ( $M$ ) di un oggetto d'arte diminuisce con l'aumentare della complessità. Ma la formula di Birkhoff, propendendo per l'ordine e la semplicità, penalizza le configurazioni più complesse e naturali.

Uno dei principali critici della teoria di Birkhoff fu Eysenck, che criticò questa concezione del rapporto tra ordine e complessità per individuare la misura estetica. Eysenck non credeva che la complessità dovesse essere divisore dell'ordine per esprimere il valore estetico, bensì moltiplicatore [Eysenck 1942]. Un'immagine con elevato valore estetico doveva contenere allo stesso tempo sia elementi di complessità che di ordine, considerate entrambe caratteristiche strutturali dell'esperienza estetica. Trasformando il tipo di rapporto tra ordine

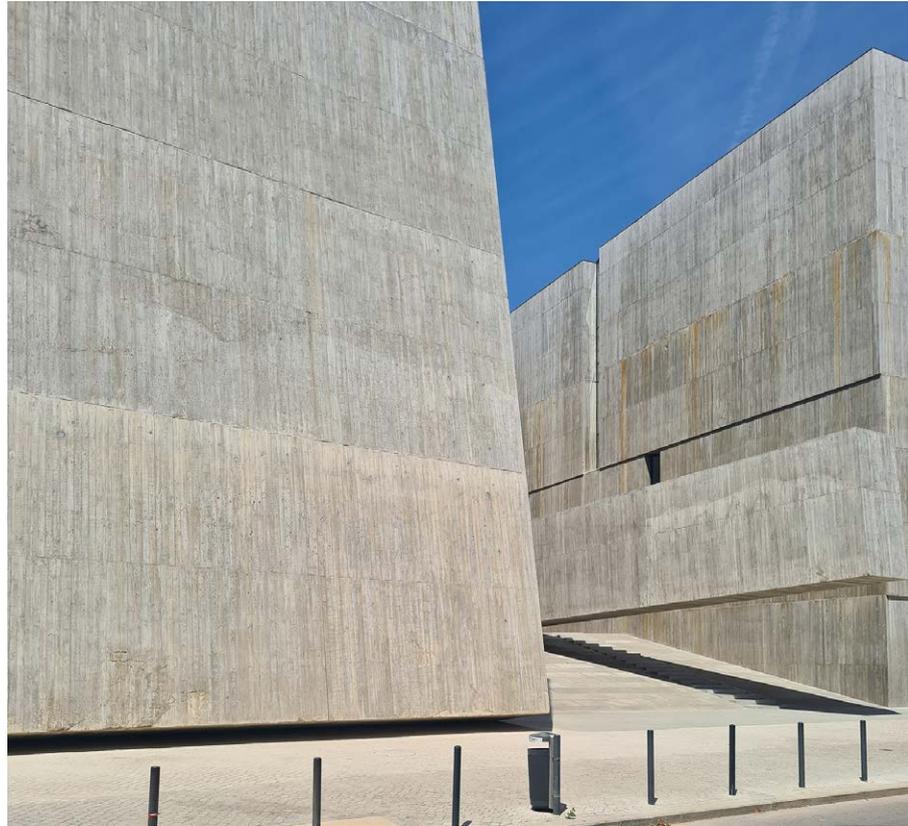


Fig. 3. Uffici EDP di Elemental a Lisbona, Portogallo. Foto dell'autore.

e complessità proposto da Birkhoff, Eysenck propose una nuova formula in cui la qualità estetica dell'immagine si ottiene dal prodotto tra ordine e complessità secondo la formula:

$$M=O \times C$$

La complessità visiva è un termine ampiamente teorizzato ma non definito con precisione né finora misurabile. Nella sua forma più semplice, la complessità visiva si riferisce al livello di dettaglio all'interno di un'immagine. Le immagini visive, come i display dei computer o le fotografie, sono ampiamente utilizzate per studiare i meccanismi visivi poiché gli stimoli ambientali tridimensionali sono ridotti a immagini retiniche bidimensionali.

L'estetica dei media visivi ha attirato l'attenzione degli studiosi in molteplici campi come nella psicologia e nella comunicazione. L'estetica computazionale, una branca della visione artificiale, è stata descritta come "la ricerca di metodi computazionali in grado di prendere decisioni estetiche applicabili in modo simile a come possono fare gli esseri umani" [Hoenig 2005, p.16]. Uno dei compiti principali dell'estetica computazionale è simulare il sistema visivo e il cervello umano per misurare e quantificare l'estetica.

La complessità visiva contiene informazioni significative che possono portare a soluzioni in molteplici campi, tra cui la grafica, il marketing, la pubblicità e web design ma l'attrattiva estetica dei media visivi è solo uno dei principali risultati di interesse nel campo dell'estetica computazionale. Per quantificare la complessità visiva, in letteratura sono stati studiati diversi fattori. La vivacità dell'immagine, la densità dei bordi, la luminanza, i motivi geometrici, la simmetria speculare e il numero di oggetti sono alcuni degli esempi.

Tuttavia, a seconda del tipo di immagine, ad esempio se contiene modelli astratti o scene del mondo reale, il contributo di questi fattori alla rappresentazione della sua complessità è diverso. È necessaria una supervisione per ottimizzare il contributo di ciascuno di questi fattori. Ciò richiede l'accesso a informazioni aggiuntive sui dati dell'immagine che possono rendere un algoritmo di apprendimento più efficace e adattabile.

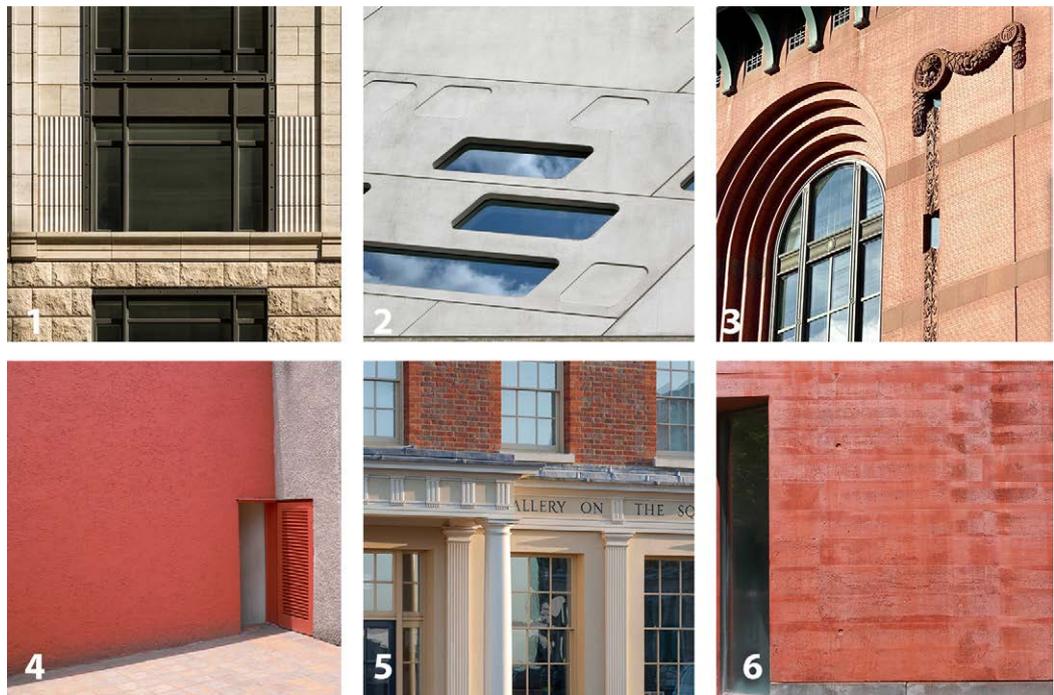


Fig. 4. Le immagini campione raffiguranti porzioni ravvicinate di 3 architetture in stile neo-tradizionale e 3 in stile contemporaneo. Elaborazione dell'autore.

### Misurare la complessità architettonica: un approccio sperimentale

Il concetto di complessità organizzata di Salingaros deriva dalla teoria della "integrità" (*wholeness*) [1] di Alexander [Alexander 2002-2005] definita come una caratteristica matematica quantificabile che ordina lo spazio fisico ed influenza psicologicamente la mente delle persone. Uno spazio con un alto grado di integrità viene definito da Alexander struttura vivente (*living structure*).

Nonostante i principi matematici che concorrono al grado di integrità delle living structures siano stati ampiamente discussi e teorizzati da Alexander con più di duecento tra fotografie e diagrammi, non è ancora stata definita una formula matematica che quantifichi in modo esaustivo questa proprietà.

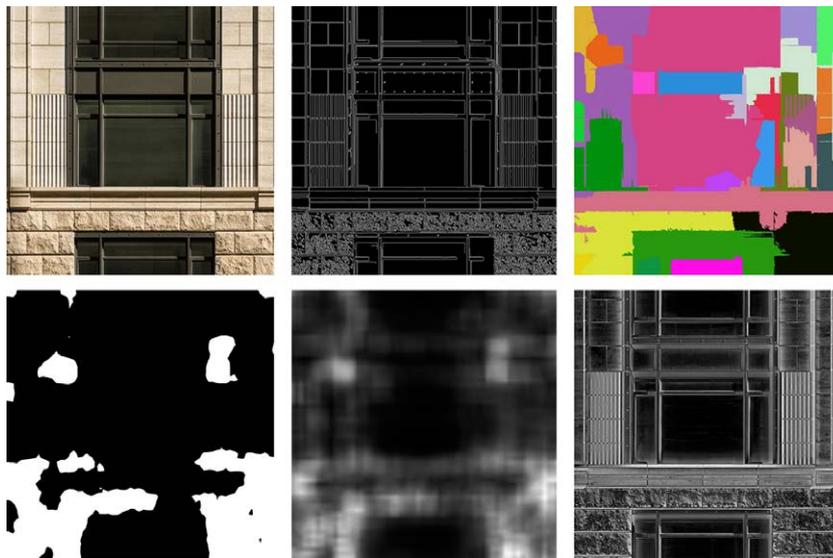
Un tentativo promettente per quantificare la complessità delle architetture secondo la teoria di Alexander è quello di Jiang [Jiang 2019] in cui le facciate degli edifici vengono scomposte in geometrie semplici: il numero di scale in cui si ripetono queste geometrie e la distanza tra i centri di esse concorrono al calcolo di una gerarchia tra scale visualizzabile con l'applicazione di una gamma di colori dello spettro dal blu, per una scarsa presenza di gerarchia al rosso quando essa è alta. Più numerosi sono i colori maggiore è il numero delle scale presenti nel prospetto ed il grado di complessità.

Con questa ricerca sperimentiamo la possibilità di misurare la complessità architettonica di un edificio con le stesse metodologie utilizzate dall'estetica computazionale per l'analisi della complessità visiva delle immagini. Partendo dal presupposto che la quasi totalità dell'esperienza dell'ambiente costruito avviene tramite il senso della vista diamo per assodato di poter analizzare l'architettura attraverso un'immagine.

Sono state analizzate 6 fotografie (fig. 4) che ritraggono da una distanza ravvicinata di circa 5 metri dettagli di facciata di tre architetture progettate in stile contemporaneo (figg. 2, 4, 6) e tre in stile neo-tradizionale (figg. 1, 3, 5) [2].

Le analisi sono state effettuate con Athec [Peng 2021], una libreria Python per l'analisi dei media visivi con cui è possibile estrapolare informazioni quantitative di parametri come il contrasto, la percentuale di colore, la vividezza e la profondità di campo. Nel nostro studio ci concentriamo sul parametro della complessità visiva che è possibile stimare in Athec attraverso tre metodologie (fig. 5):

Fig. 5. Esempio delle analisi estratte dall'algoritmo per l'immagine in fig. 1. Elaborazione dell'autore.



1. Il "rilevamento dei bordi" (*edge detection*): il software identifica i pixel di un'immagine in cui alcune caratteristiche come la luminosità o il colore cambiano drasticamente restituendo un file un'immagine binaria. I bordi solitamente rappresentano i contorni di oggetti o texture (fig. 4) e quindi la percentuale dell'area dell'immagine occupata dai punti dei bordi può essere una misura della complessità. Inoltre, un'immagine semplice con uno sfondo pulito dovrebbe avere bordi concentrati in una piccola area, mentre un'immagine complessa dovrebbe avere bordi che si estendono su tutta l'inquadratura, essendo distanti l'uno dall'altro. Pertanto anche la distanza media tra i punti del bordo e la dimensione di un riquadro che contiene almeno l'1% dei punti del bordo possono quantificare la complessità visiva (fig. 6).
2. La "segmentazione" (*segmentation*): i pixel di un'immagine che condividono alcune caratteristiche rispetto ad una tolleranza preimpostata vengono raggruppati in regioni (segmenti) monocromatiche. I segmenti corrispondono approssimativamente alle geometrie presenti nell'immagine (fig. 7) ed il loro numero dovrebbe riflettere la complessità visiva. Un'immagine di bassa complessità ha spesso uno sfondo uniforme che dovrebbe essere compresa in un'unica ampia regione. La complessità visiva con questo algoritmo può essere indicata dal numero di segmenti.
3. "Il rilevamento della salienza" (*saliency detection*): l'algoritmo rileva gli oggetti salienti che risaltano nell'immagine. Una mappa di salienza può essere rappresentata come un'immagine in scala di grigi in cui la luminosità di ciascun pixel rappresenta il valore di salienza (fig. 8). La misura della complessità visiva in questo caso consiste nel trovare un riquadro di delimitazione (*bounding box*) minimo che contenga almeno una certa percentuale del valore di salienza totale.

## Risultati e Conclusioni

Dall'analisi dei risultati (fig. 9) le immagini che ritraggono porzioni di architetture in stile neo-tradizionale (figg. 1, 3, 5) raggiungono generalmente punteggi maggiori nella somma dei risultati derivanti dai tre metodi ma da un confronto analitico dei singoli algoritmi emergono interessanti spunti per ricerche future.

La complessità visiva di queste architetture raggiunge risultati maggiori soprattutto negli algoritmi impostati con una tolleranza metrica più bassa come quello della segmentazione, risultato che suggerisce l'utilizzo di questo metodo per un apprezzamento della complessità visiva dell'edificio da una maggiore distanza.

Negli algoritmi in cui viene impostata una maggiore tolleranza metrica, come quelli di rileva-

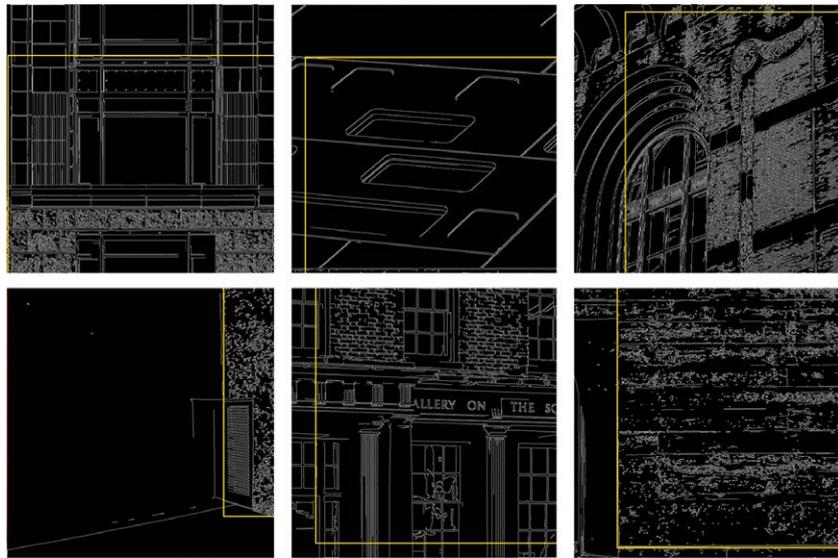


Fig. 6. *Bounding box* della percentuale della densità dei bordi. Elaborazione dell'autore.



Fig. 7. Spettro della segmentazione generato dall'algorithm per le 6 immagini. Elaborazione dell'autore.

mento dei bordi e della salienza, i dettagli minori, come la texture del materiale, concorrono alla complessità visiva anche nelle immagini di architetture dall'evidente disegno contemporaneo-minimalista (figg. 4, 6).

Nella seconda immagine (fig. 2) tutti i metodi portano alla conclusione di una scarsa complessità visiva dovuta non solo ad una povertà di misure nella porzione campione della facciata ma anche ad una omogeneità della texture del materiale.

Lontano dal voler stigmatizzare il processo di progettazione ad una mera quantificazione dei fattori speculativi e concettuali che hanno portato alla sua realizzazione, proponiamo che la quantificazione della complessità visiva possa essere uno degli strumenti in appoggio alla progettazione.

Il test suggerisce anche la sperimentazione di questo approccio alle diverse distanze e tolleranze da cui viene percepito l'edificio, da quella urbana a quella di dettaglio. Infine, si suggerisce di affiancare questa misurazione ad esperimenti di neuro-estetica ambientale nello studio dei caratteri dell'ambiente costruito al fine di progettare delle città sempre più attente al benessere psico-fisico dei cittadini.

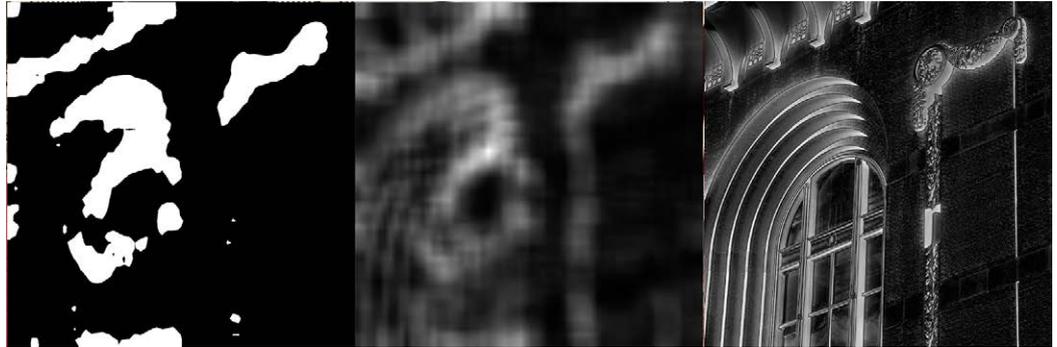


Fig. 8. Esempio di spettro della salienza generato dall'algorithm per l'immagine in fig. 3. Elaborazione dell'autore.

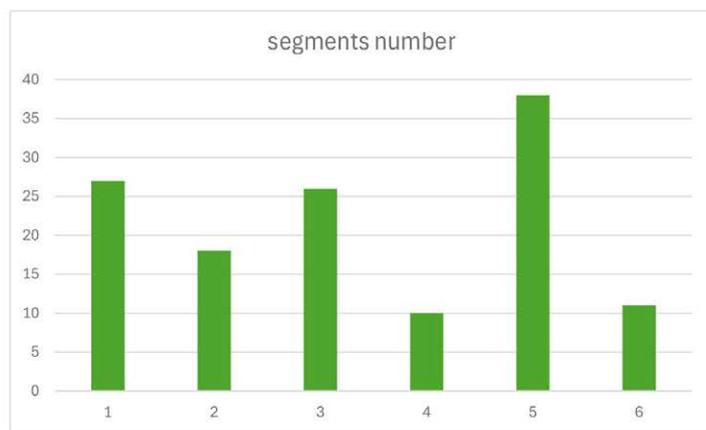
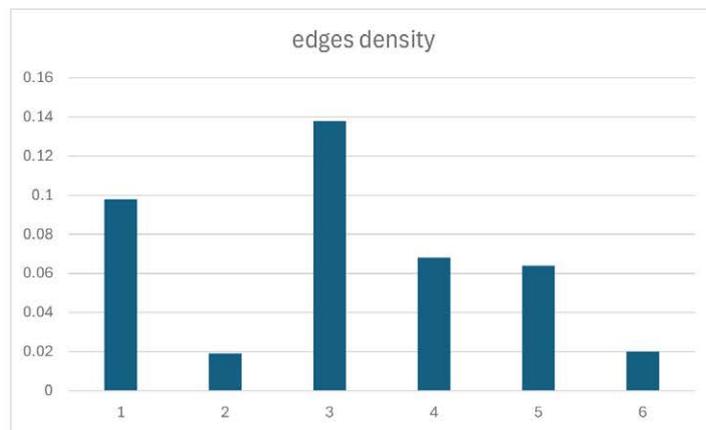


Fig. 9. I risultati delle tre metodologie estratti da Atehc per le sei immagini. Elaborazione dell'autore.

## Note

[1] La qualità dell'integrità (*wholeness*) per Alexander esiste in modo pervasivo nel mondo; in un ornamento, in una stanza, in un edificio, in un giardino e in una città. In precedenza, Alexander la chiamava la "qualità senza nome": "una qualità centrale che è il criterio fondamentale della vita e dello spirito nell'uomo, in una città, in un edificio o in un deserto. Questa qualità è oggettiva e precisa, ma non può essere nominata". Il termine è anche un concetto chiave nella psicologia della Gestalt tradotto come "totalità", nella fisica quantistica e in molti altri contesti religiosi e filosofici. Semanticamente, potrebbero esserci alcune sovrapposizioni tra questi diversi campi, ma l'integrità di Alexander è unica ed ha caratteristiche distintive. Una qualsiasi forma, naturale o artificiale, che presenti un alto grado di integrità è, per Alexander, una struttura vivente (*living structure*).

[2] Le immagini sono state selezionate da un database di 64 fotografie che ritraggono 32 architetture riprese da due punti di vista, da lontano e nel dettaglio, utilizzate come stimoli visivi per un esperimento di neuroestetica condotto in collaborazione con il dipartimento di Psicologia dell'università "G. D'Annunzio" di Chieti-Pescara e attualmente in fase di analisi dei dati.

## Riferimenti bibliografici

Alexander C., Ishikawa S., Silverstein M., Jacobson M., Fiksdahl King I., Angel S. (1977). *A Pattern Language*. New York: Oxford University Press.

Alexander C. (2002-2005). *The Nature of Order: An essay on the art of building and the nature of the universe*. Berkeley: Center for Environmental Structure.

Birkhoff G. D. (1933). *Aesthetic Measure*, vol. 38. Cambridge: Harvard University Press.

Coburn A., Vartanian O., Chatterjee A. (2017). Buildings, Beauty, and the Brain: A Neuroscience of Architectural Experience. In *Journal of Cognitive Neuroscience*, n. 29, pp. 1521-31.

Ellard C. (2015). *Places of the Heart: the Psychogeography of Everyday Life*. New York: Bellevue Literary Press.

Eysenck H. J. (1942). The experimental study of the 'good Gestalt': a new approach. In *Psychological Review*, n. 49, p. 344.

Goldberger A. L. (1996). Fractals and the birth of Gothic: reflections on the biologic basis of creativity. In *Mol Psychiatry*, n. 2, pp. 99-104.

Hoenig F. (2005). Defining Computational Aesthetics. In Neumann L., Sbert M., Gooch B. (a cura di). *Computational Aesthetics'05. Proceedings of the First Eurographics conference on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging*. Girona, Spain, May 18 -20 2005, pp. 13-18. Goslar, Germany: Eurographics Association.

Jiang B. (2019). Living Structure Down to Earth and Up to Heaven: Christopher Alexander. In *Urban Science* 3, no. 3, p. 96.

Kaplan S. (1995). The Restorative Benefits of Nature: toward an Integrative Framework. In *Journal of Environmental Psychology*, n. 3, pp. 169-82.

Kellert S. R., Wilson E. O. (1993). *The Biophilia hypothesis*. Washington: Island Press.

Mandelbrot B. B. (1967). How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. In *Science*, n. 156, pp. 636-638.

Peng Y. (2021). AtheC: A Python Library for Computational Aesthetic Analysis of Visual Media in Social Science Research. In *Computational Communication Research*, Forthcoming.

Salingaros N. A., Mehaffy M. W. (2006). *A theory of architecture*. Solingen: Umbau-Verlag.

## Autore

Lorenzo Pellegrini, Università "G. D'Annunzio" di Chieti-Pescara, [lorenzo.pellegrini@unich.it](mailto:lorenzo.pellegrini@unich.it)

*Per citare questo capitolo:* Lorenzo Pellegrini (2024). Complessità architettonica ed estetica computazionale: una nuova unità di misura/Architectural complexity and computational aesthetics: a new unit of measurement. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/ Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1877-1894.

# Architectural complexity and computational aesthetics: a new unit of measurement

Lorenzo Pellegrini

## *Abstract*

The geometric rationalization of modern architecture, with the predilection for a pure Euclidean geometry and the reduction of ornamental apparatus, led over the decades to a contraction in the number of dimensions on the facades with a consequential reduction and repetition of the number of architectural scales. Architectural modules are no longer scaled sequentially to enrich the elevation but repeated in series to simplify the visual information. But the complexity given by the multiplicity of scales is a parameter typical of natural environments to which man, despite millennia of civilisation, is still biologically linked and several neuroscientific studies have demonstrated a predilection for settings rich in details compared to minimal ones. What is architectural complexity made of? Is it a typical quality of traditional architecture that can only be expressed through ornamentation, or can it also be an attribute of the geometrical and textural experimentation of contemporary architecture? How can we measure this parameter? The aim of this research is to try to quantify architectural complexity with the computational aesthetics tools that have been used for some years to quantify the visual complexity of images in neuromarketing studies.

## *Keywords*

Visual complexity, detail, image editing, computational aesthetics, coding.



Decorative detail on a  
Haussmann building's  
facade in Paris, XIX cent.  
Photo by the author.

## Introduction

In recent years researchers turned their attention to the potential physiological impact of the visual organization of the surrounding environment, both natural and artificial [Coburn et al. 2017, pp. 1521-31]: it has been shown that a natural environment has positive effects, sometimes even through the simple vision of images, on mood, reducing stress, improving concentration and memory at work [Kaplan 1995, 169-82], perceived health and even, surprisingly, self-esteem. Other interesting findings include the association of exposure to natural forms with a reduction in criminal behavior and the now well-established finding of improved recovery after surgery.

These results support the "biophilia" hypothesis [Kellert, Wilson 1993, p. 484], a theory that suggests that humans have an innate affinity for other living organisms and for the natural environment in general [Ellard 2015, p. 38], and indicate that exposure to this environment can affect mental and physical health. Consequently, investigating the "structural" visual characteristics that presumably mediate these effects is a task of fundamental scientific and practical importance. These features are not only found in nature but also in artificial environments, whether as a result of a conscious effort to incorporate them into a type of "biophilic" design or into pre-modern architecture (fig. 1).

In the latter these characteristics are inherent as an integral part of the project or, in the simplest cases, emerge from the used materials and construction methods: the existence of this structural order in traditional architecture could also reflect the structural and functional models of our nervous system [Goldberger 1996, pp. 99-104]. The geometry of nature appears to have had a profound impact on the way we connect to natural forms and the pioneering work of Christopher Alexander [Alexander et al. 1977] and Nikos Salingaros later on identified a series of parameters that codify this "connection" between the spectator and the environment.

An important factor is the presence of fractal characteristics. The term fractal, introduced by Mandelbrot [Mandelbrot 1967, pp 636-8], describes a structure that presents self-similarity at different levels, from the largest to the smallest (fig. 2). Perfect fractals are purely mathematical constructs, but statistically self-similar fractals, where the repetitions are not exact, are everywhere in nature, from coastlines to galaxies and from tree branches to lung



Fig. 1. Church do Carmo in Porto, Portugal XVIII century. Photo by the author.

airways and blood vessels. Exposure to certain fractal visual patterns in nature, in architecture, or in the visual arts has been shown to have significant physiological effects. Our brains are finely tuned to the visual complexity of the natural environment, particularly to respond positively to higher levels of complexity.

Fractals are an important component of this effect, but by no means represent the full range of these qualities. This “organized complexity” [Salingaros 2010] is also defined by a hierarchy of scales, by the presence of local contrasts, repeated symmetries, even colours and other characteristics.

In parallel with rationalist and minimalist trends, contemporary architecture has also returned to embracing complexity: the parametricism of Gehry and Hadid celebrates it on a large scale with the mathematical complexity of double-curved non-linear surfaces; on a small scale, they manage to express the vividness of textures and natural materials of a certain critical regionalism of South American origin even in the detail of the most minimalist architecture (fig. 3).

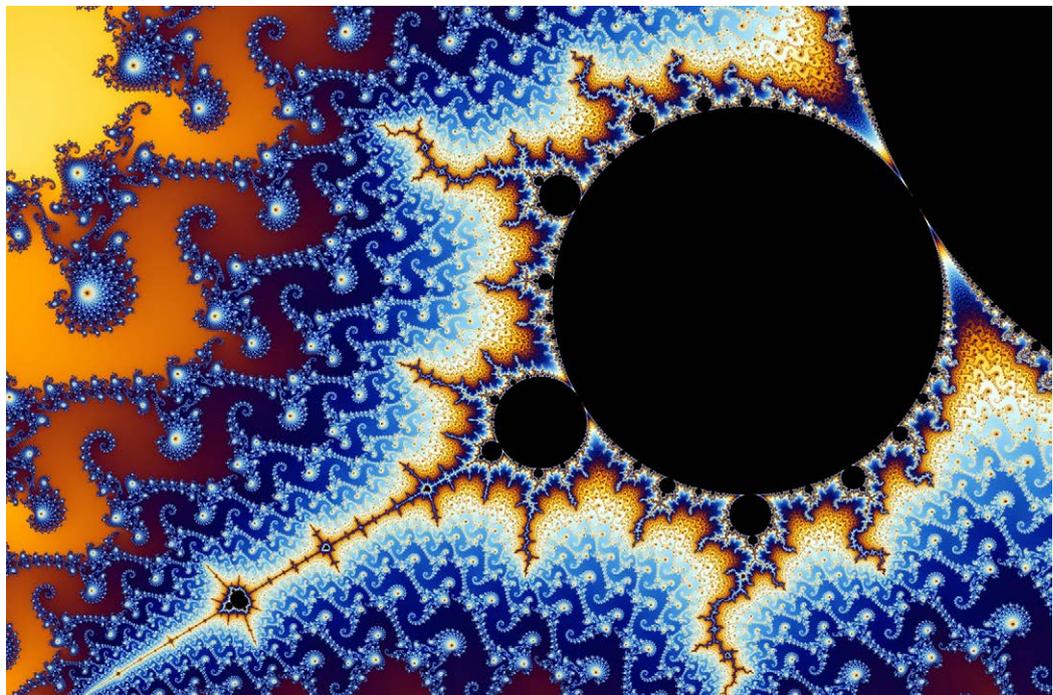


Fig. 2. Graphic representation of the Mandelbrot fractal (Wikimedia.org).

### Visual complexity aesthetics

Visual complexity and aesthetic beauty are related [Birkhoff 1933]. In one of the first works on visual complexity Birkhoff defines the aesthetic dimension  $M$  of an art object as a function of the ratio between its order and complexity ( $M=f(O/C)$ ), where  $O$  stands for order, often present in forms of harmony or symmetry and  $C$  stands for complexity.

According to his formula, the aesthetic measure ( $M$ ) of an art object decreases with increasing complexity. But Birkhoff's formula, which favours order and simplicity, penalizes the more complex natural configurations.

One of the main critics of Birkhoff's theory was Eysenck, who criticized this conception of the relationship between order and complexity to identify the aesthetic measure. Eysenck did not believe that complexity should be a divider of order to express aesthetic value, but rather a multiplier [Eysenck 1942].

An image with high aesthetic value had to contain both elements of complexity and order at the same time, both considered structural characteristics of the aesthetic experience.

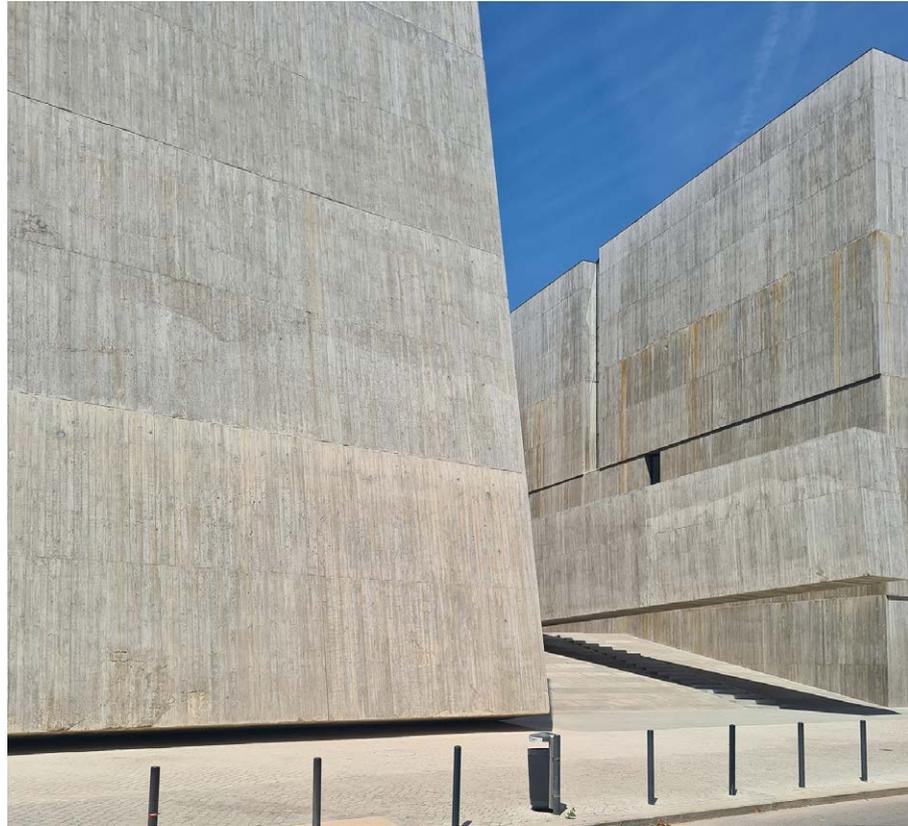


Fig. 3. EDP headquarter by Elemental in Lisbon, Portugal. Photo by the author.

Transforming the type of relationship between order and complexity proposed by Birkhoff, Eysenck proposed a new formula in which the aesthetic quality of the image is obtained from the product between order and complexity according to the formula.

$$M=O \times C$$

Visual complexity is a term that is widely theorized but neither precisely defined nor yet measurable. In its simplest form, visual complexity refers to the level of detail within an image. Visual images, such as computer displays or photographs, are widely used to study visual mechanisms because three-dimensional environmental stimuli are reduced to two-dimensional retinal images. The aesthetics of visual media has attracted the attention of researchers in multiple fields such as psychology and communication.

Computational aesthetics, a branch of computer science, has been described as “the search for computational methods that can make applicable aesthetic decisions similarly to how humans do” [Hoenig 2005, p.16].

One of the main tasks of computational aesthetics is to simulate the human visual system and brain to measure and quantify aesthetics.

Visual complexity contains significant information that can lead to solutions in multiple fields, including graphics, marketing, advertising, and web design, but the aesthetic appeal of visual media is just one major outcome of interest in the field of computational aesthetics.

To quantify visual complexity, several factors have been studied in the literature. Image vibrancy, edge density, luminance, geometric patterns, mirror symmetry, and number of objects are some of the examples. However, depending on the type of image, for example whether it contains abstract models or real-world scenes, the contribution of these factors to the representation of its complexity is different. Supervision is required to optimize the contribution of each of these factors. This requires access to additional information about the image data that can make a learning algorithm more effective and adaptable.

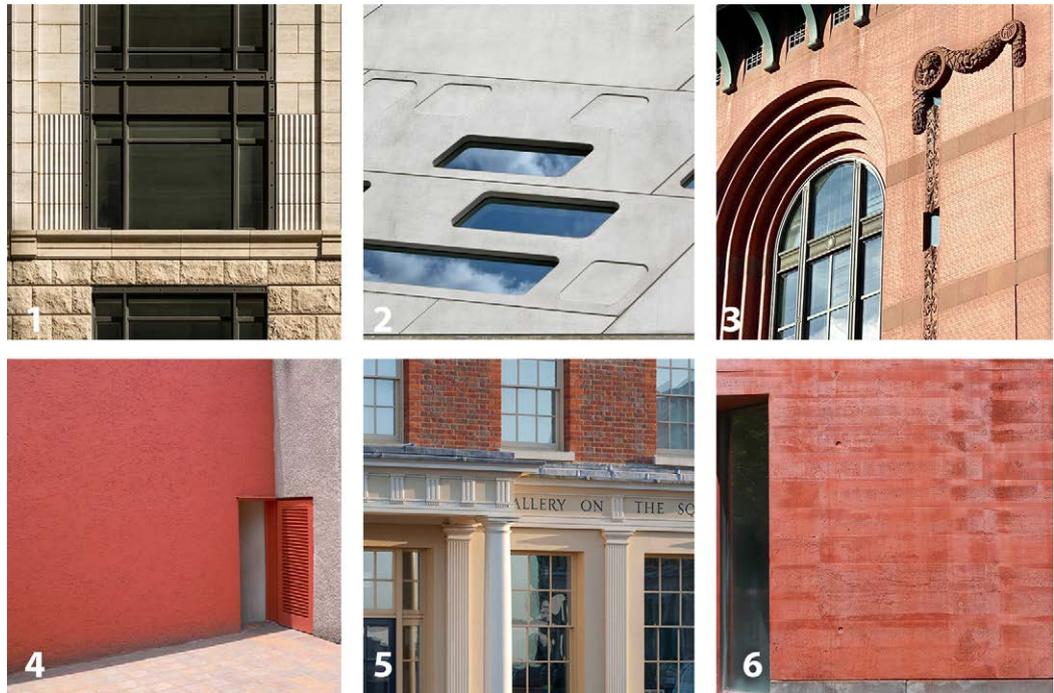


Fig. 4. Tested images depicting facade areas of 3 traditional style buildings and 3 contemporary buildings. Elaboration by the author.

### Measuring visual complexity: an experimental method

Salingeros' concept of organized complexity derives from Alexander's theory of "wholeness" [Alexander 2002-2005] defined as a quantifiable mathematical characteristic that orders physical space and psychologically influences people's minds. A space with a high degree of wholeness is defined by Alexander as a living structure. Although the mathematical principles that contribute to the degree of wholeness of living structures have been extensively discussed and theorized by Alexander with more than two hundred photographs and diagrams, a mathematical formula that exhaustively quantifies this property has not yet been defined.

A promising attempt to quantify the complexity of architecture according to Alexander's theory is that of Jiang [Jiang 2019] in which the facades of buildings are broken down into simple geometries: the number of scales in which these geometries are repeated and the distance between the centres of them contribute to the calculation of a hierarchy between scales that can be visualized with the application of colours in the range of the spectrum from blue, due to a low presence of hierarchy, to red when it is high.

The more are the colours, the greater the number of the façade's scales and the degree of complexity. With this research we experiment the possibility of measuring the architectural complexity of a building with the same methodologies used by computational aesthetics for the analysis of the visual complexity of images.

Starting from the assumption that the majority of the experience of the built environment occurs through the sense of vision, we can analyse architecture through a picture.

We analysed 6 photographs (fig. 4) representing facade details of three architectures designed in a contemporary style (figg. 2, 4, 6) and three in neo-traditional style (figg. 1, 3, 5) [2] taken from a close distance of about 5 meters. The analyses were ran with Athec [Peng 2021], a Python library for the analysis of visual media through which it is possible to obtain quantitative informations on parameters such as contrast, colour percentage, vividness and depth of field. In our study we focus on the visual complexity parameter which can be estimated in Athec through three methodologies (fig. 5):

1. "Edge detection": the software identifies the pixels of an image in which some characteristics such as brightness or colour change drastically, returning a binary image. Edges usually

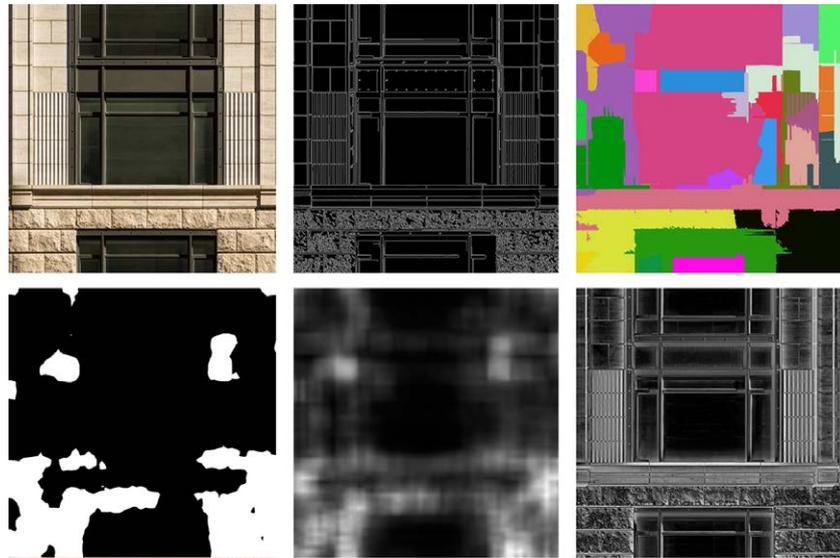


Fig. 5. Sample images of the analysis generated by the algorithm for fig. 1. Elaboration by the author.

represent the outlines of objects or textures (fig. 4) and therefore the percentage of the image area occupied by edge points can be a measure of complexity. Furthermore, a simple image with a clean background should have edges concentrated in a small area, while a complex image should have edges that extend across the entire frame, being distant from each other. Therefore, the average distance between edge points and the size of a box containing at least 1% of edge points can also quantify visual complexity (fig. 6).

2. "Segmentation": the pixels of an image that share some characteristics with respect to a preset tolerance are grouped into monochromatic regions (segments).

The segments correspond approximately to the geometries in the image (fig. 7) and their number should reflect the visual complexity. An image of low complexity often has a uniform background that should fit into a single large region. The visual complexity with this algorithm can be indicated by the number of segments.

3. "Saliency detection": the algorithm detects salient objects that stand out in the image. A saliency map can be represented as a grayscale image where the brightness of each pixel represents the saliency value (fig. 8). The measure of visual complexity in this case consists of finding a minimum bounding box that contains at least a certain percentage of the total saliency value.

## Results and conclusion

From the analysis of the results (fig. 9) the images which contains portions of neo-traditional style architectures (figg. 1, 3, 5) generally achieve higher scores in the sum of the results deriving from the three methods but from an analytical comparison of the individual algorithms emerge interesting ideas for future research.

The visual complexity of these architectures achieves greater results especially in algorithms set with a lower metric tolerance such as segmentation, a result that suggests the use of this method for an appreciation of the visual complexity of the building from a greater distance. In algorithms in which a greater metric tolerance is set, such as those for edge and saliency detection, minor details such as the texture of the material contribute to the visual complexity even in pictures of buildings with an evident contemporary-minimalist design (figg. 4, 6). In the second image (fig. 2) all methods lead to the conclusion of a low visual complexity due not only to a poverty of dimensions in the sample portion of the facade but also to a homogeneity of the texture of the material. Far from wanting to stigmatize the design process to a mere quantification of the speculative and conceptual factors that led to its

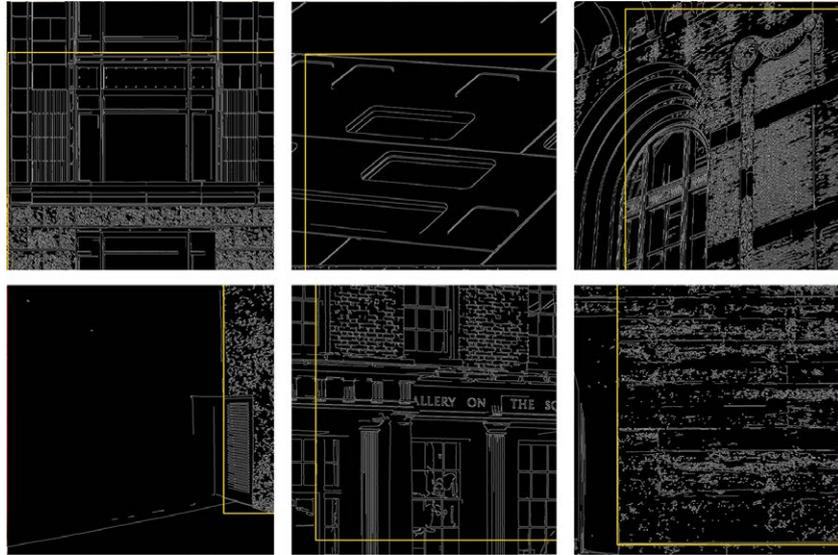


Fig. 6. Bounding box of the edges density percentage. Elaboration by the author.



Fig. 7. Segmentation's colour spectrum for the 6 images. Elaboration by the author.

creation, we propose that the quantification of visual complexity can be an helpful tool in the design process.

The test also suggests experimenting with this approach at the different distances and tolerances from which the building is perceived, from the urban one to the detailed one. Finally, it is suggested to combine this measurement with environmental neuro-aesthetics experiments in the study of the characteristics of the built environment in order to design cities that will increasingly take into account the psycho-physical well-being of citizens.

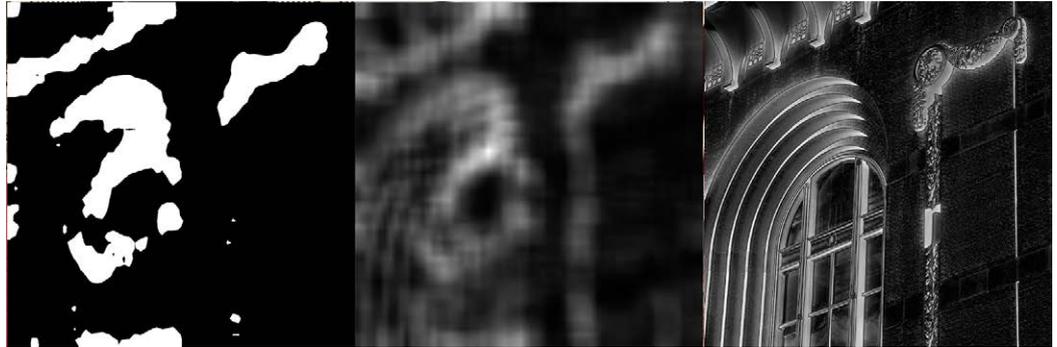


Fig. 8. Saliency spectrum example for picture in fig. 3. Elaboration by the author.



Fig. 9. Results of the 3 AtheC methodologies for the 6 images. Elaboration by the author.

## Notes

[1] The quality of wholeness for Alexander exists pervasively in the world: in a decoration, in a room, in a building, in a garden and in a city. Previously, Alexander called it the "nameless quality": "a central quality that is the fundamental criterion of life and spirit in man, in a city, in a building or in a desert. This quality is objective and precise but cannot be named". The term is also a key concept in Gestalt psychology, quantum physics and many other religious and philosophical contexts. Semantically, there may be some overlap between these different fields, but Alexander wholeness is unique and has distinctive characteristics. Any form, natural or artificial, that presents a high degree of integrity is, for Alexander, a living structure.

[2] The images were selected from a database of 64 photographs depicting 32 architectures taken from two points of view, from afar and in detail, used as visual stimuli for a neuroaesthetics experiment conducted in collaboration with the Psychology department of the "G. D'Annunzio" of Chieti-Pescara and currently in the data analysis phase.

## References

- Alexander C., Ishikawa S., Silverstein M., Jacobson M., Fiksdahl King I., Angel S. (1977). *A Pattern Language*. New York: Oxford University Press.
- Alexander C. (2002-2005). *The Nature of Order: An essay on the art of building and the nature of the universe*. Berkeley: Center for Environmental Structure.
- Birkhoff G. D., (1933). *Aesthetic Measure*, vol. 38. Cambridge: Harvard University Press.
- Coburn A., Vartanian O., Chatterjee A. (2017). Buildings, Beauty, and the Brain: A Neuroscience of Architectural Experience. In *Journal of Cognitive Neuroscience*, n. 29, pp. 1521–31.
- Ellard C. (2015). *Places of the Heart: the Psychogeography of Everyday Life*. New York: Bellevue Literary Press.
- Eysenck H. J. (1942). The experimental study of the 'good Gestalt': a new approach. In *Psychological Review*, n. 49, p. 344.
- Goldberger A. L. (1996). Fractals and the birth of Gothic: reflections on the biologic basis of creativity. In *Mol Psychiatry*, n. 2, pp. 99-104.
- Hoening F. (2005). Defining Computational Aesthetics. In Neumann L., Sbert M., Gooch B. (Eds.). *Computational Aesthetics'05. Proceedings of the First Eurographics conference on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging*. Girona, Spain, May 18 -20 2005, pp.13-18. Goslar, Germany: Eurographics Association.
- Jiang B. (2019), Living Structure Down to Earth and Up to Heaven: Christopher Alexander. In *Urban Science* 3, no. 3, p. 96.
- Kaplan S. (1995). The Restorative Benefits of Nature: toward an Integrative Framework. In *Journal of Environmental Psychology*, n. 3, pp. 169-82.
- Kellert S. R., Wilson E. O. (1993). *The Biophilia hypothesis*. Washington: Island Press.
- Mandelbrot B. B. (1967). How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. In *Science*, n. 156, pp. 636-638.
- Peng Y. (2021), AtheC: A Python Library for Computational Aesthetic Analysis of Visual Media in Social Science Research. In *Computational Communication Research*, Forthcoming.
- Salinger N. A., Mehaffy M. W. (2006). *A theory of architecture*. Solingen: Umbau-Verlag.

## Author

Lorenzo Pellegrini, "G. D'Annunzio" University of Chieti-Pescara, [lorenzo.pellegrini@unich.it](mailto:lorenzo.pellegrini@unich.it)

To cite this chapter: Lorenzo Pellegrini (2024). Complessità architettonica ed estetica computazionale: una nuova unità di misura/Architectural complexity and computational aesthetics: a new unit of measurement. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1877-1894.