

<u>Εισαγωγή</u>	2
<u>1.Γεωμετρικές Δομές και Τάξη στην Αρχιτεκτονική</u>	5
1.1 Χρυσές αναλογίες στη φύση και αρχιτεκτονική	8
1.2 Από τα πολύεδρα στους λαβυρίνθους: γεωμετρικές και φιλοσοφικές προσεγγίσεις	14
1.3 Από τους αριθμούς της φύσης στους σχηματισμούς της αρχιτεκτονικής	17
<u>2. Fractals, μέτρο τάξης και αταξίας</u>	28
2.1 Fractal: έννοιες, ορισμοί και παραδείγματα στην αρχιτεκτονική	28
2.2 ΔΟΜΕΣ FRACTAL: πέρα από τη μορφή στην Αρχιτεκτονική.....	39
<u>3. Χάος και Πολυπλοκότητα (και) στην αρχιτεκτονική</u>	46
3.1 Χάος και πολυπλοκότητα: βασικές έννοιες και ορισμοί	46
3.1.1 Εισαγωγή: Από τα fractal στο Χάος	46
3.1.2 Η έννοια του Χάους και της Πολυπλοκότητας στη Φυσική	48
3.1.3 Χάος και Πολυπλοκότητα πέρα από τη Φυσική	54
3.2 Η Πολυπλοκότητα στην Αρχιτεκτονική	57
3.2.1 Θεωρήσεις και ερμηνείες: Venturi - Jencks- Eisenman -Salingaros-Friedman	57
3.2.2 Πολυπλοκότητα και Υπολογιστικά συστήματα στην Αρχιτεκτονική	64
<u>4. Από την τάξη στην αταξία στην αρχιτεκτονική, η περίπτωση της πόλης</u>	68
4.1 Πολύπλοκα συστήματα σε κλίμακα κτηρίου	68
4.2 Χάος και Πολυπλοκότητα στην αστική κλίμακα	70
<u>Συμπεράσματα- Επίλογος</u>	86
<u>Πίνακας Εικόνων</u>	87
<u>Βιβλιογραφία</u>	

Εισαγωγή

Ανέκαθεν η αρχιτεκτονική δανειζόταν στοιχεία από άλλους χώρους και επιστημονικά πεδία. Τα μαθηματικά και η γεωμετρία αποτελούν βασικά πεδία επιρροής στην αρχιτεκτονική, καθώς και σε πολλές από τις επιστήμες που τα χρησιμοποιούν. Σε αυτή την εργασία διερευνώνται ορισμένες έννοιες και αρχές που δανείζεται η αρχιτεκτονική από άλλα επιστημονικά πεδία (κυρίως Μαθηματικών και Φυσικής) καθώς και ο τρόπος μεταφοράς τους στην αρχιτεκτονική. Επιχειρείται μια αναδρομή σε έννοιες που έχουν ξεκινήσει από τα μαθηματικά και ενυπάρχουν σε δομές του φυσικού κόσμου και φτάνουν μέχρι και στις θεωρίες του Χάους και της Πολυπλοκότητας. Εν συνεχεία, συναντώνται με θεωρήσεις, ερμηνείες και πρακτικές που αφορούν στην δημιουργία, στον προγραμματισμό και στην διαχείριση του χώρου. Στα τρία κεφάλαια-ενότητες της εργασίας εξετάζεται αρχικά το επιστημονικό τμήμα των πεδίων τα οποία σχετίζονται με την εξέλιξη της αρχιτεκτονικής θεωρίας και πρακτικής, ενώ ο τρόπος συσχετισμού και αλληλεπίδρασης ερευνάται σε δεύτερο στάδιο.

Στις αλληλεπιδράσεις όλων των συστημάτων και πραγμάτων στον κόσμο παρατηρούμε ότι υπάρχουν δυνάμεις και «κανόνες» οι οποίες τις διέπουν. Οι δυνάμεις αυτές, δυνάμεις της φύσης όπως πολλοί τις αποκαλούν, γίνονται περισσότερο φανερές και κατανοητές όταν αποκαλύπτονται μέσω των επιστημών και των παρατηρήσεων φαινομένων του γύρω μας κόσμου. Από τα κύματα της θάλασσας, μέχρι το ρυθμό και τον τρόπο ανάπτυξης των φυτών, καθώς και σε άπειρα άλλα γεγονότα του περιβάλλοντός μας, καταλαβαίνουμε ότι υπάρχει κάποια γενικότερη αρχή που τα διέπει και καθορίζει τον τρόπο λειτουργίας τους.

Θεμελιώδεις ερωτήσεις όπως αυτές, έχουν απασχολήσει τον άνθρωπο εδώ και πολλούς αιώνες αλλά σχετικά πρόσφατα αρχίζουμε πραγματικά να καταλαβαίνουμε , μέσω της εξέλιξης των επιστημών, τι όντως συμβαίνει. Μόλις μετά το 1970 με την ανάπτυξη της θεωρίας του Χάους βλέπουμε ότι κάποια φαινόμενα όπως για παράδειγμα, η πρόβλεψη του καιρού, η παγκόσμια οικονομία, οι ροές των υγρών, οι προβλέψεις ομάδων και πληθυσμών, είναι πολύ πιο πολύπλοκα από ότι πιστεύονταν. Επίσης, τελευταία παρατηρείται όλο και πιο έντονα η ανάγκη για συνέργια πολλών επιστημονικών πεδίων για την ερμηνεία τέτοιων φαινομένων, αφού όσο εμβαθύνει κάποιος στα πλαίσια ενός επιστημονικού πεδίου τόσο ανακαλύπτει τη συμβολή και συσχέτιση με άλλα πεδία. Συγκεκριμένα οι «βασικές» επιστήμες και ιδιαίτερα τα μαθηματικά συμβάλλουν στην ερμηνεία φαινομένων και καταστάσεων.

Η αρχιτεκτονική ως ευρύ αντικείμενο επηρεάζεται αλλά και ερμηνεύεται από πληθώρα πρισμάτων και άλλων αντικειμένων όπως πχ, γλυπτική, σκηνοθεσία, σκηνογραφία, γεωμετρία, κοινωνιολογία, ψυχολογία, φιλοσοφία κα. Επίσης, δανείζεται αλλά και δανείζει στοιχεία σε πολλά άλλα πεδία και είχε ανέκαθεν μια ιδιαίτερη σχέση με τα μαθηματικά. Εξετάζεται η αρχιτεκτονική ως ένας σύνθετος οργανισμός συστημάτων , θεωριών και πρακτικών.

Η σχέση με ευρύτερα σύνολα και τομείς, όπως για παράδειγμα το οικονομικό και κοινωνικό, θα ερευνηθεί κυρίως μέσω της σχέσης της με ένα από αυτά τα πρίσματα-πεδία που προαναφέρθηκαν, δηλαδή τα μαθηματικά. Συνολικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι να αναζητηθούν και μελετηθούν επιμέρους περιοχές επιστημών ως προς τον τρόπο που επηρεάζουν την εξέλιξη της αρχιτεκτονικής σκέψης και πρακτικής. Επίσης, επιχειρείται μια εποπτική «ματιά» σε κάποια φαινόμενα του κόσμου μας που

επηρεάζουν το σύνολο της ανθρώπινης δημιουργικότητας, επομένως και της αρχιτεκτονικής. Ως παράδειγμα, εξετάζεται η θεωρία του Χάους και η πολυπλοκότητα οι οποίες είναι θεωρίες και μαθηματικά μοντέλα που επηρεάζουν αλλά και ερμηνεύουν φαινόμενα του κόσμου, τα οποία προηγουμένως θεωρούσαμε γνωστά και πλήρως κατανοητά. Θα διερευνηθεί πώς χρησιμοποιούνται και επηρεάζουν την τέχνη και την αρχιτεκτονική.

Τέλος, θα γίνει προσπάθεια για μια βελτιωμένη ερμηνεία ορισμένων επιστημονικών εννοιών, καθώς και ο τρόπος μεταφοράς τους από άλλους (επιστημονικούς) κλάδους στην αρχιτεκτονική.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η σχέση και ο δανεισμός μορφολογικών και μη, στοιχείων της φύσης στην δημιουργία χώρου από τον άνθρωπο. Άραγε υπάρχουν αρχές και δυνάμεις που καθορίζουν την λειτουργία των έμβιων και μη οργανισμών; Πού στέκεται η αρχιτεκτονική άραγε σε αυτό το παιχνίδι δυνάμεων και λειτουργίας έμβιων και μή συστημάτων;

1.Γεωμετρικές Δομές και Τάξη στην Αρχιτεκτονική

«Και ήταν τότε που όλα τα είδη των πραγμάτων με αυτόν τον τρόπο έλαβαν τα σχήματά τους από την Μία Αρχή, μέσω της δράσης των Ιδεών και των Αριθμών» [Πλάτωνας, Τίμαιος, απόσπασμα σε ελεύθερη νεοελληνική μετάφραση.]

Η παραπάνω φράση του Πλάτωνα (και γενικότερα η αντίληψή του περί Αισθητικής) έχει επηρεάσει πολύ την Δυτική γενικότερα σκέψη, τέχνη και ιδιαίτερα την αρχιτεκτονική. Στις ιδέες του και τη σύλληψή του συναντάμε τον «τεχνίτη θεό» και την αρμονική λειτουργία του Κόσμου του με τις έννοιες του προϋπάρχοντος, του αιωνίου, του αρχέτυπου ή ιδέας κ.α. Έτσι, η Πλατωνική και νεο-Πλατωνική κυρίως αντίληψη της Τέχνης είναι ότι ο καλλιτέχνης δημιουργεί τέχνη σύμφωνα με το προϋπάρχον σύστημα, σαν μία «συμφωνική» σύνθεση που διακατέχεται από «δυναμική συμμετρία» [Ghyka M., 1977]. Οι αναλογίες και τα μαθηματικά περιγράφουν και ερμηνεύουν θέματα μορφής τα οποία σχετίζονται με βασικούς κανόνες και λειτουργίες του κόσμου. Πολλά θεμελιώδη ερωτήματα γεννώνται σε αυτά τα πεδία όπως, γιατί η ζωή αναπτύσσεται με τον τρόπο που αναπτύσσεται; Γιατί επικρατούν κάποιες συγκεκριμένες αναλογίες και μαθηματικές ιδιότητες στις μορφές της φύσης; Αυτά τα ερωτήματα σαφώς δεν είναι εύκολο να απαντηθούν και επιπλέον συνδυάζουν πολλούς επιστημονικούς τομείς, από γεωμετρία-μαθηματικά μέχρι βιολογία και χημεία. Σε αυτό το κεφάλαιο επιχειρείται μια ματιά στις μορφές του φυσικού κόσμου και

στους κανόνες και τα συστήματα που τις καθοδηγούν, καθώς και η αντιστοιχία και μεταφορά τέτοιων συστημάτων αναλογιών και κανόνων στην αρχιτεκτονική.

Στην αισθητική του Πλάτωνα βλέπουμε τον ρόλο της «Αρμονίας» και του «Ρυθμού» στην έννοια της «Ομορφιάς», καθώς και τον ρόλο των Αριθμών στην σχέση Ομορφιάς και Αγάπης. Οι συσχετισμοί των αναλογιών και της μαθηματικής σχέσης έχουν από πολύ παλιά τις απαρχές τους, από τον Πυθαγόρα και τον Πλάτωνα μέχρι τον Μεσαίωνα, την Αναγέννηση και τη σημερινή εποχή. Στον Βιτρούβιο, οι αρμονικά διαταγμένες ή ρυθμικά επαναλαμβανόμενες σχέσεις μεγεθών, οι «αναλογίες», μας εισάγουν στην «συμμετρία». Η συμμετρία αυτή βέβαια (ορισμένη από τους Έλληνες και Ρωμαίους αρχιτέκτονες, καθώς και από τους αρχιμάστορες του Γοτθικού ρυθμού και τους αρχιτέκτονες και ζωγράφους της Αναγέννησης, από τον Λεονάρντο μέχρι τον Παλλάντιο) είναι πολύ διαφορετική από τον σύγχρονο όρο της συμμετρίας. Δεν έχει δηλαδή να κάνει με την «ταυτόσημη απεικόνιση στην κάθε πλευρά του άξονα ή επιπέδου συμμετρίας», αλλά ορίζεται κατά τον Βιτρούβιο ως εξής:

«Η συμμετρία κατοικεί στο συσχετισμό με μέτρηση μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του σχεδίου, καθώς και μεταξύ καθενός από αυτά τα στοιχεία με το σύνολο ... Όπως και στο ανθρώπινο σώμα ... προέρχεται από την αναλογία και πετυχαίνει την 'συμφωνία' μεταξύ του κάθε τμήματος και του συνόλου .. Αυτή η συμμετρία ρυθμίζεται από τον συντελεστή, το πρότυπο της κοινής δράσης, το οποίο οι Έλληνες αποκαλούσαν 'αριθμό' ... Όταν κάθε σημαντικό μέρος του κτιρίου είναι έτσι σε κατάλληλη θέση, κατ' αναλογία με τη σωστή αντιστοιχία μεταξύ ύψους και πλάτους, πλάτους και βάθους, και όταν όλα αυτά τα

μέρη έχουν επίσης τη θέση τους στην συνολική συμμετρία του κτιρίου, τότε πετυχαίνουμε την ευρυθμία.»

[Ghyka M., 1977, Introduction p. x]

Σύμφωνα με το Πυθαγόρειο «δόγμα», «Τα πάντα είναι τακτοποιημένα και οργανωμένα βάσει Αριθμών» κάτι το οποίο δικαιολογείται και φαίνεται τόσο στην τέχνη, αλλά κυρίως στην φύση. Η γεωμετρική μελέτη κρυσταλλικών δομών της φύσης, για παράδειγμα, έχει εδραιωθεί όπως και η μελέτη της ζωής και της ανάπτυξής της. Τελικά, και αρκετά περίεργα θα έλεγε κανείς, τα μοτίβα, οι συμμετρίες και οι έλικες (σπείρες) οι οποίες ανακαλύπτονται στις έμβιες μορφές και στον τρόπο ανάπτυξής τους, εμφανίζουν τις ίδιες αναλογίες οι οποίες χρησιμοποιούνταν στην τέχνη από Έλληνες και από αρχιτέκτονες του γοθικού ρυθμού. Ειδικότερα όμως, η «Χρυσή Τομή» έχει απασχολήσει ανθρώπους του ευρύτερου χώρου σε πολλές εποχές. Ο Luca Pacioli, φίλος του Leonardo την αναφέρει ως «Θεϊκή αναλογία», ενώ ο Kepler ως “ένα από τα δύο κοσμήματα της γεωμετρίας». Η συγκεκριμένη αναλογία έχει σημαντικές αλγεβρικές αλλά και γεωμετρικές ιδιότητες τόσο στην Βιολογία όσο και στην «Αισθητική» και θα την συναντήσουμε παρακάτω. Ο μαθηματικός Bertrand Russel είπε ότι ίσως το πιο παράξενο πράγμα στην Μοντέρνα Επιστήμη είναι η επιστροφή της στον Πυθαγορειανισμό [Ghyka M., 1977]. Όπως είναι γνωστό, η σχέση των μαθηματικών (της γεωμετρίας όσον αφορά στην μορφογένεση για την ακρίβεια) και των μορφών γύρω μας είναι μεγάλη.

1.1 Χρυσές αναλογίες στη φύση και αρχιτεκτονική

Η χρυσή τομή ϕ ορίζεται ως το πηλίκο των θετικών αριθμών $\frac{\alpha}{\beta}$ όταν ισχύει $\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha + \beta}{\alpha}$. Είναι ο αριθμός $\phi = (1 + \sqrt{5}) / 2 \approx 1.618033989...$

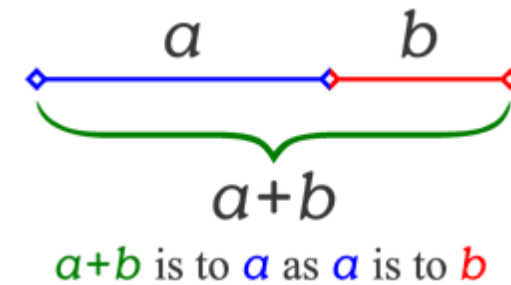
Η χρυσή τομή δίνει το σημείο που πρέπει να διαιρεθεί ένα ευθύγραμμο τμήμα, ώστε ο λόγος του ως προς το μεγαλύτερο τμήμα να ισούται με τον λόγο του μεγαλύτερου τμήματος ως προς το μικρότερο.

$$\frac{a + b}{a} = \frac{a}{b} = \phi.$$

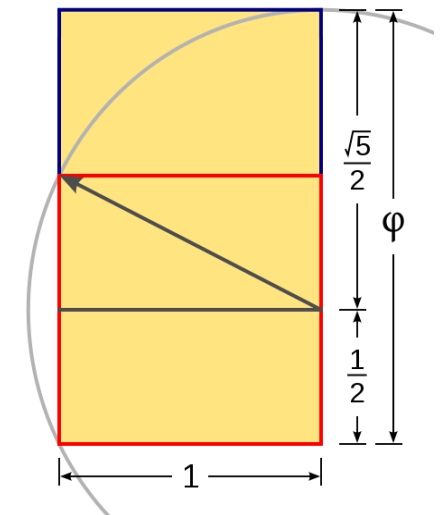
Από το (2)=(3) έχουμε $a = \phi b$ και αντικαθιστώντας στο (1)=(3) προκύπτει $\phi^2 - \phi - 1 = 0$.

Η εξίσωση αυτή έχει μόνο μία θετική ρίζα, την $\phi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1.618033988749895$

Επίσης, το ϕ αποτελεί το όριο του πηλίκου δύο διαδοχικών αριθμών της σειράς Φιμπονάτσι (1,1,2,3,5,8,13,21,34 ...). Για παράδειγμα, $3/2=1.5$ που είναι μια προσέγγιση του ϕ , $5/3=1.666...$ που είναι αρκετά πιο κοντά. Όσο προχωράμε κατα αυτό τον τρόπο παίρνουμε καλύτερες προσεγγίσεις όπως το $13/8=1.625$ το οποίο προσεγγίζει την τιμή του ϕ με απόκλιση κάτω από 1%.



Εικόνα 1: Χρυσή Τομή

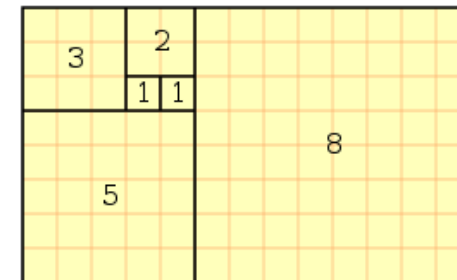


Εικόνα 2: Μια μέθοδος για να κατασκευάσει ένα χρυσό ορθογώνιο. Το τετράγωνο περιγράφεται στο κόκκινο. Οι διαστάσεις που προκύπτουν είναι στην χρυσή αναλογία.

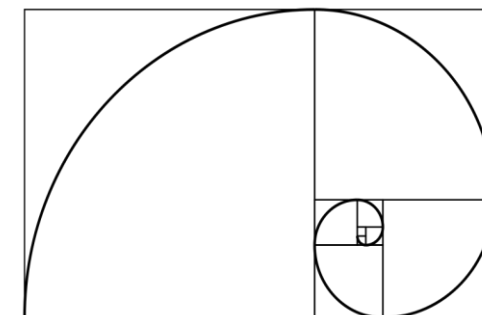
Το **χρυσό ορθώνιο παραλληλόγραμμο** (βλ. εικόνα2) έχει διαστάσεις που είναι πάντα μέσα στην χρυσή αναλογία $1 : \frac{1+\sqrt{5}}{2}$ ή προσεγγιστικά 1:1.618 (1:φ δηλαδή).

Η **σπείρα Fibonacci** δημιουργείται από τόξα που συνδέουν τις αντίθετες γωνίες των τετραγώνων στο «Fibonacci tiling» [Pottman H., 2007]

Η καταμέτρηση και η εξέταση των κανονικών και ημι-κανονικών στερεών οδήγησε τους μελετητές να επινοήσουν κατηγορίες και υποκατηγορίες του χώρου, αλλά και να «οριοθετήσουν τους γενικούς κανόνες σύμφωνα με τους οποίους τα φυσικο-χημικά συστήματα μπορεί κάποιες φορές να ενταχθούν σε γεωμετρικά μοτίβα ή 'αστερισμούς'.» [Ghyka M., 1977, p.87] Ο γενικότερος «Κανόνας της Φύσης», τουλάχιστον όταν αναφερόμαστε σε ανόργανα συστήματα, είναι η «Αρχή της ελάχιστης δράσης» (Principle of least action) ή αλλιώς η Αρχή του Χάμιλτον. «Το γενικό αποτέλεσμα της αρχής αυτής είναι ότι παράγει μια κατάσταση ισορροπίας, με ελάχιστη δυνατή ενέργεια, ισορροπημένες τάσεις και κατανομή της επιφανειακής ενέργειας και όλα αυτά λαμβάνονται με την μεγαλύτερη δυνατή οικονομία σε έργο» [Ghyka M., 1977]. Η στατιστική μορφή αυτής της αρχής λέει ότι «Ένα σύστημα (ακόμα και το Σύμπαν) συνεχώς περνάει από τις λιγότερο πιθανές προς τις περισσότερο πιθανές καταστάσεις». Η διαμόρφωση της μέγιστης πιθανότητας γίνεται στο σημείο της μέγιστης εντροπίας, στην μεγαλύτερη 'υποβάθμιση' της ενέργειας. «Όταν η κατάσταση τελικής ισορροπίας παράγει σχετικά σταθερές ή άκαμπτες διαρρυθμίσεις μορίων, όπως στους κρυστάλλους, αποκτούμε τότε συνήθως μοτίβα και «πλέγματα» (lattices), τα οποία προκύπτουν από



Εικόνα 3: Στο συγκεκριμένο χρησιμοποιούνται τετράγωνα των μεγεθών 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, και 34.



Εικόνα 4: A tiling with squares whose sides are successive Fibonacci numbers in length.



Εικόνα 5: A yupana (Quechua for "counting tool") is a calculator that was used by the Incas. Researchers believe that calculations were based on Fibonacci numbers to minimize the number of necessary grains per field

πιο ιδιαίτερες πτυχές της γενικής αρχής.» [Ghyka M., 1977, p.88]. Βλέπουμε δηλαδή καλύτερα τους κανόνες-νόμους οι οποίοι ευθύνονται για τις δομές και τον τρόπο σύνδεσης των μορίων αλλά και ολόκληρων των μορφών στην φύση, έμβιων και μη. Για παράδειγμα, τα ισοτροπικά συστήματα (αυτά που είναι δηλαδή εντελώς ίδια με τον εαυτό τους σε κάθε σημείο) και τα «σημειακά πλέγματα» μας επέτρεψαν να προβλέψουμε την προτίμηση για κυβικά ή εξαγωνικά συστήματα συμμετρίας. Όμως, σύμφωνα με τον νόμο των «ορθολογικών δεικτών ή συντελεστών» (rational indices or coefficients) πρόκειται για κάτι παραπάνω από απλή προτίμηση ή πιθανότητα. Συγκεκριμένα, οι κυβικές, οι εξαγωνικές και οι κυβοκταεδρικές συμμετρίες και τα πλέγματα (cuboctahedral symmetries and lattices) πρέπει απαραίτητα να εμφανίζονται σε κρυσταλλικά ανόργανα συστήματα και δομές, σε αντίθεση με τα πεντάγωνα, τα δωδεκάεδρα και τα εικοσάεδρα τα οποία δεν εμφανίζονται αλλά και δεν μπορούν να εμφανιστούν εκεί. Ένας από τους λόγους είναι ότι οι γωνίες στις κορυφές του πενταγώνου, του δωδεκάεδρου και εικοσάεδρου δεν είναι συμβατές με τα κανονικά-πραγματικά χωρίσματα του χώρου. [Ghyka M., 1977,p.88] Οι ασυμμετρικές πάλλουσες δυνάμεις που συναντάμε στους ζωντανούς οργανισμούς και στην ανάπτυξη τους δρουν αρκετά διαφορετικά από τις φυσικοχημικές αντιδράσεις που υπακούουν την “Αρχή της ελάχιστης δράσης” που περιγράψαμε παραπάνω. Έτσι, η «Γεωμετρία της Ζωής», όπως την αναφέρει ο Ghyka, μας παρουσιάζει σχήματα και όγκους άγνωστους και αδύνατους στα ανόργανα συστήματα. Το καθαρότερο παράδειγμα επικράτησης της εξαγωνικής γεωμετρίας στα ανόργανα συστήματα είναι οι νιφάδες χιονιού που παρουσιάζουν άπειρο αριθμό εξαγωνικών μοτίβων. (Στην ουσία αποτελούν και τέλειο παράδειγμα «fractal», βλ. Επόμενο κεφάλαιο) Το πεντάγωνο και το δωδεκάεδρο, παρόλο που δεν γίνεται



Εικόνα 6: Νιφάδα χιονιού



Εικόνα 7: Νιφάδα χιονιού

να εμφανιστούν σε ανόργανες κρυσταλλικές μορφές, έχουν σημαντικό ρόλο στα σχήματα των ζωντανών οργανισμών και στα διαγράμματα ανάπτυξης των έμβιων οργανισμών. Αυτό γίνεται για δύο λόγους:

- «Η χρυσή τομή, οι σειρές “Φ” (και οι ασυμπτωτικές, θυγατρικές τους, οι σειρές Fibonacci) έχουν την ιδιότητα να παράγουν, με την απλή πρόσθεση, μια σειρά αριθμών σε γεωμετρική πρόοδο ή μια σειρά όμοιων σχημάτων, το οποίο αποκαλεί ο Sir D’Arcy Thompson «Gnomonic Growth». Αυτή η ανάπτυξη (με τη μέθοδο του εγκολεασμού από μέσα προς τα έξω) ... είναι που σχετίζεται με τους έμβιους οργανισμούς, ενώ στους κρυστάλλους η ανάπτυξη γίνεται μέσω «συγκόλλησης», απλής δηλαδή προσθήκης ολίδιων στοιχείων από έξω. Το κάθε σωματίδιο πηγαίνει στο μέρος που είναι πιο εύκολα προσβάσιμο και η τελική κατανομή ενέργειας στο σύστημα είναι τέτοια ώστε να μην προκαλεί περαιτέρω κίνηση (αυτό τυχαία αντιστοιχεί στις όψεις των επιπέδων). Ακόμη, η χρυσή τομή και οι σχετικές σειρές έχουν στενή σχέση με το πεντάγωνο και την πενταγωνική συμμετρία.
- «Ενώ αυτή η πενταγωνική συμμετρία δεν μπορεί (για καθαρά αριθμητικούς λόγους στην γωνιακή κατανομή) να σχετίζεται με υποκατηγορίες του χώρου ή ομοιογενή σημειακά πλέγματα, όμως ταιριάζει τέλεια με τις ασύμμετρες διακυμάνσεις (παλμούς) της έμβιας ανάπτυξης, ειδικά με αυτές που δημιουργούν παρόμοια σχήματα (γνωμονική ανάπτυξη) ... Υπάρχει σίγουρα μια φυσική προτίμηση για την πενταγωνική συμμετρία, μια συμμετρία που συνδέεται με τη χρυσή τομή και είναι



Εικόνα 9: Λουλούδι, πεντάγωνο



Εικόνα 8: Λουλούδι, πεντάγωνο

άγνωστη στα ανόργανα συστήματα η οποία κυριαρχεί και διαφαίνεται στο ζωικό βασίλειο και στην βοτανική» (είδαμε για ποιούς λόγους). [Ghyka M., 1977, p.91]

¹ Όπως αναφέρει ο Matila Ghyka, υπάρχει μια περίεργη αναλογία εδώ με την γοτθική αρχιτεκτονική, στην οποία η εξισορρόπηση των τάσεων-πιέσεων στους πυλώνες και τις αντηρίδες δίνει την δυνατότητα να φέρουν ελάχιστο βάρος οι τοίχοι και η οροφή.

Τα πέντε κανονικά στερεά συναντώνται και στους σκελετούς των «radiolaria», ενώ τα κανονικά δωδεκάεδρα και εικοσάεδρα για παράδειγμα, δεν βρίσκονται ποτέ σε ορυκτούς κρυσταλλικούς σχηματισμούς. Το τρίγωνο Φ και η χρυσή τομή εμφανίζονται πολύ στο ανθρώπινο σώμα και άλλες ιδιότητες και αναλογίες που προκύπτουν από αυτά (χρυσή τομή, σειρές Φ, τρίγωνο Φ), όπως η λογαριθμική σπείρα και άλλα, περιγράφουν και φαίνονται στον τρόπο που αναπτύσσονται κελύφη, όστρακα και κέρατα ζώων.

Ιδανικό δείγμα για ανάλυση εκτός από τα όστρακα, κελύφη κτλ είναι και το ανθρώπινο σώμα στο σύνολό του, είτε σε μέρη του (όπως το πρόσωπο²). Το ανθρώπινο σώμα έχει τις πιο εντυπωσιακές αλλά και προφανείς εμφανίσεις της χρυσής τομής, άλλα παραδείγματα μπορούν να βρεθούν σε όλο το ζωικό βασίλειο (μαζί με τα έντομα) και έτσι τα διαγράμματα ποικίλουν αλλά η ουσία είναι αυτή που αναφέραμε στην αρχή του κεφαλαίου. Κάποιοι πίνακες και αναλύσεις έχουν ομοιότητες ή και είναι ίδιοι, για παράδειγμα, το βασικό διάγραμμα ανάλυσης του προσώπου είναι στην ουσία το ίδιο με αυτό του

¹ Μια άλλη διαφορά ανάμεσα σε ανόργανες (και καθαρά φυσικο-χημικά) και οργανικές αντιδράσεις είναι ότι στην πρώτη περίπτωση η Αρχή της ελάχιστης δράσης τείνει να παράγει οικονομία ενέργειας, ενώ στην δεύτερη περίπτωση (στα έμβια συστήματα) υπάρχει μια τάση για οικονομία ως προς την ουσία (substance) σύμφωνα με τον D'Arcy Thomson.

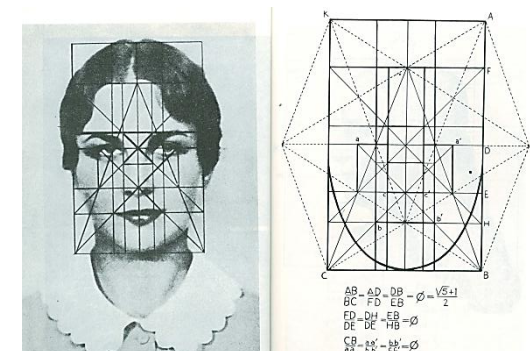
² Το ιδανικό πρόσωπο που ταιριάζει ακριβώς στις αναλογίες της χρυσής τομής είναι της Helen Wills (τενίστρια Ολυμπιονίκης), βλ. εικόνα 12.



Εικόνα 10: Λουλούδι, πεντάγωνο

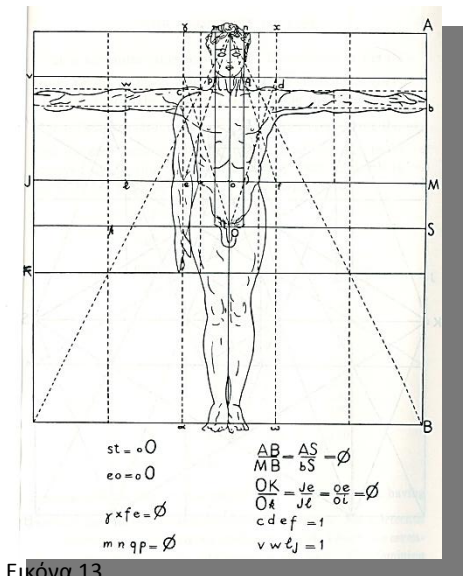


Εικόνα 11: Λουλούδι, πεντάγωνο



Εικόνα 12: Helen Wills (τενίστρια Ολυμπιονίκης).

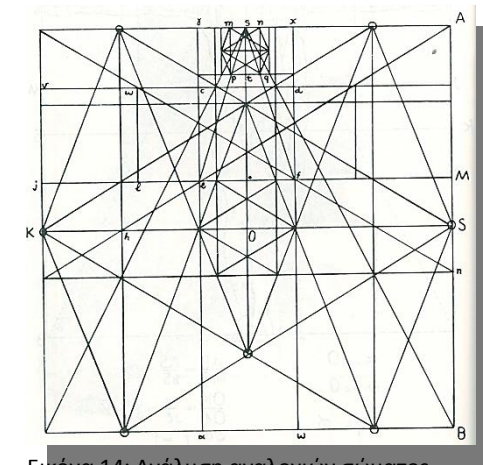
σώματος, «η σύνδεσή τους έγκειται στο γεγονός ότι το ύψος του προσώπου είναι ίσο με την κάθετη απόσταση ανάμεσα στο μέσο του σώματος (εκεί όπου τέμνονται τα πόδια στα «ιδανικά» δείγματα) και τον αφαλό. Η κάθετη απόσταση από την κορυφή του κεφαλιού ως τον αφαλό ισούται με την απόσταση από την άκρη του μεσαίου δάκτυλου (όταν το χέρι κρέμεται κάθετα) έως το πάτωμα» [Ghyka M., 1977, p.98]



Εικόνα 13



Εικόνα 15: Όστρακο, τομή, σπείρα Fibonacci

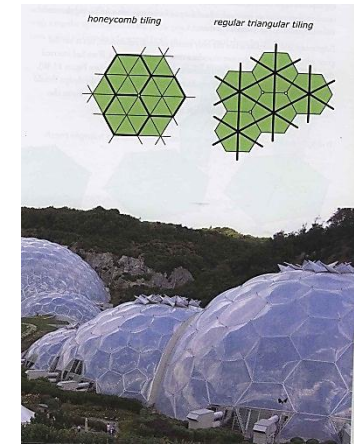


Εικόνα 14. Ανάλυση αναλογιών σώματος

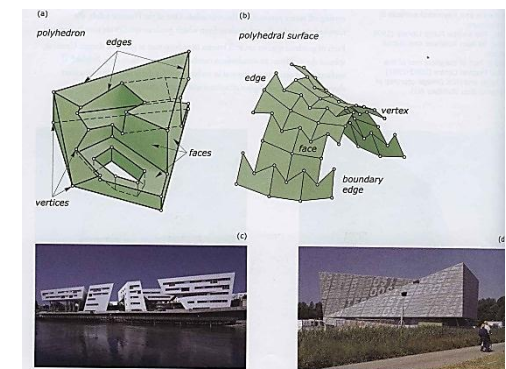
1.2 Από τα πολύεδρα στους λαβυρίνθους: γεωμετρικές και φιλοσοφικές προσεγγίσεις

Τα πολύεδρα και οι πολυεδρικές επιφάνειες συναντώνται συχνά στην αρχιτεκτονική, ακόμη και στην πιο καθαρή μορφή τους. Αυτό συμβαίνει κυρίως για πρακτικούς λόγους μιας και οι επίπεδες επιφάνειες κατασκευάζονται πολύ ευκολότερα από τις καμπύλες, όπως είναι γνωστό. Τα Αρχιμήδεια και τα Πλατωνικά στερεά αντιγράφονται επίσης αυτούσια. Ο «δανεισμός» της αρχιτεκτονικής είναι ξεκάθαρος και μορφολογικός, μήπως όμως αποκτά περισσότερο νόημα και βάθος αυτή η σχέση; [Pottman H., 2007]

Οι λαβύρινθοι έχουν, όπως είναι γνωστό, τραβήξει το ενδιαφέρον αρχιτεκτόνων και μη ανά τους αιώνες. Πολλά έχουν ειπωθεί όπως, «you enter a maze to lose yourself and a labyrinth to find yourself», «the labyrinth possesses a quality and relevance that transcends time, cultures and religions» [http://www.labyrinthbuilders.co.uk/about_labyrinths/history.html]. Η ιστορία τους είναι μεγάλη και βρίσκονται από την εποχή της Μινωικής Κρήτης μέχρι την εποχή μας. Οι μορφές τους ποικίλουν ανάλογα με την εποχή, την περιοχή κ.α. Ενδιαφέρον ίσως παρουσιάζουν οι φιλοσοφικές προεκτάσεις του λαβυρίνθου. Ο λαβύρινθος ανά τις εποχές έχει συμβολίσει την αναζήτηση της γνώσης, έχει χρησιμοποιηθεί ως μέσο δραματικότητας, διασκέδασης, ακόμη και φυλάκισης. Ενέπνεε πνευματικότητα και χρησιμοποιούνταν σε θρησκείες αλλά ίχνη βρίσκουμε και στην μυθολογία. Έχει υπάρξει από σπίτι του μυθικού Μινώταυρου έως παιχνίδι στις αυλές επαύλεων. Ακόμη, η γοητεία που ασκεί είναι ίσως θα λέγαμε διαχρονική μιας και σχετίζεται με το τυχαίο, το μοιραίο και το άγνωστο και η εμπειρία του έχει παραλληλιστεί και με θεατρικό έργο που στο τέλος φτάνει κανείς στην κάθαρση.



Εικόνα 16: A hexagonal mesh in architecture. (Nicolas Grimshaw, The Eden Project).



Εικόνα 17: The geometric entities of a polyhedron and a polyhedral surface. Below, The Splittellau Apartment Houses by Zaha Hadid, left, The Booster Pump Station East (2003-5) in Amsterdam East by Bekkering and Adams.

[http://www.labyrinthbuilders.co.uk/about_labyrinths/history.html]

Λαβύρινθοι φτιάχνονται και από ενώσεις κανονικών (και μη) πολυέδρων, μιλάμε ουσιαστικά για χωρικούς λαβυρίνθους. Αυτό αποκτά ίσως ένα ενδιαφέρον από την σκοπιά της αρχιτεκτονικής, καθώς από κάτι φαινομενικά απλό, όπως είναι η καθαρές γεωμετρίες των πολυέδρων, περνάμε συνδυάζοντας μεταξύ τους σε χωρικούς λαβυρίνθους. Από το απλό συνθέτουμε κάτι πολύπλοκο το οποίο ξεφεύγει από το πλαίσιο της γεωμετρίας και νοηματοδοτείται πολλαπλά. Μιλάμε για τους λαβυρίνθους βεβαίως. Η έννοια της αέναης κίνησης και της διαχρονικότητας έχουν συναρπάσει και εμπνεύσει αρχιτέκτονες. Οι έννοιες αυτές φαίνονται στο “Möbius Strip”, στο δοχείο Klein, και σε αρχιτεκτονικά παραδείγματα όπως στο Möbius House και το Endless House. Αυτά τα παραδείγματα βέβαια ανήκουν σε άλλο κλάδο των μαθηματικών, την τοπολογία (και γεωμετρία Riemann), αλλά έχουν παρόλα αυτά ομοιότητες κυρίως σε επίπεδο ιδέας με τους λαβυρίνθους.

Σύμφωνα με την μυθολογία ο λαβύρινθος της Κρήτης σχεδιάστηκε από τον Δαίδαλο και ήταν ένας συνεχής γραμμικός χώρος. Όμως, στους χωρικούς λαβυρίνθους μπορούμε να έχουμε χώρους σε τρεις ή και περισσότερες διαστάσεις. *«Τέτοιου είδους λαβύρινθοι είναι χωρικές κατασκευές που αποτελούνται από μια συνεχή επιφάνεια (η οποία λέγεται manifold), η οποία χωρίζει τον χώρο σε δύο μέρη, ένα σαφές ‘εσωτερικό’ και ‘εξωτερικό’. Τέτοιες δομές είναι γνωστές στους μαθηματικούς από το 1937 ... και τα είδη λαβυρίνθων ποικίλουν, από μη περιοδικούς χωρικούς λαβυρίνθους, n-διαστάσεων χωρικούς λαβυρίνθους οι οποίοι ονομάζονται υπερλαβύρινθοι και τέλος υπερβολικούς λαβυρίνθους»* [Lalvani H., p.410]

Οι χωρικοί λαβύρινθοι παρουσιάζουν, σύμφωνα με τον Haresh Lalvani, μεγάλο αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον λόγω του συνεχούς ελισσόμενου τρισδιάστατου χώρου. Το πρώτο παράδειγμα χτισμένου χωρικού λαβυρίνθου με καμπύλες επιφάνειες είναι η κατασκευή του Pearce για το “Brooklyn Children’s Museum” και εφαρμογές μπορούν να υπάρξουν κυρίως σε στέγαστρα και σε κατασκευές με μεγάλο κενό ανάμεσα στα στηρίγματα (span). Οι μορφές και δομές των λαβυρίνθων είναι ενεργό πεδίο έρευνας και συναντώνται σε βιολογικά συστήματα δίνοντας νέες προοπτικές σε πεδία, όπως την κρυσταλλογραφία. Όπως αναφέρει ο Lalvani, σε μακροσκοπικές βιολογικές δομές, όπως οι δοκίδες (trabeculae) των οστών συναντάμε μη κανονικούς λαβύρινθους με καμπύλη όψη. Στην μικροκλίμακα της φύσης τους συναντάμε στις δομές των ζεόλιθων οι οποίοι λειτουργούν σαν μοριακά φίλτρα. Με αυτά τα κόσκινα απομακρύνουν ή παγιδεύουν ανεπιθύμητες ουσίες και βρίσκουν εφαρμογή ακόμη και σε φίλτρα αυτοκινήτων. Τέλος, σύμφωνα με τον ίδιο, οι λαβυρινθώδεις μεμβράνες αποτελούν υποσχόμενες εφαρμογές για «έξυπνα» κτήρια που αναπνέουν με τέτοιου είδους ανοίγματα.

Ο Jorge Luis Borges στο βιβλίο του «Labyrinths» κατασκευάζει έναν νοητικό λαβύρινθο συμβόλων και ιδεών ο οποίος είναι ουσιαστικά διαφορετικός στον κάθε αναγνώστη. Αφήνει μονοπάτια σκέψης στα οποία έχει ο καθένας επιλογή. Ο λαβύρινθος αυτός δεν υπάρχει μέχρι να τον ανακαλύψει ο αναγνώστης. Σύμφωνα με την ανάλυση του Stephen Albert, υπάρχει στο κείμενο η θεωρία της διακλάδωσης του χρόνου, ένας ατελείωτος ιστός από παράλληλα σύμπαντα. Όπως αναφέρεται επίσης στη σελίδα αυτή, μπορεί να παραλληλιστεί η ιστορία του βιβλίου με χωρικούς λαβυρίνθους, όπως τον μυθολογικό λαβύρινθο της Κρήτης, και να γίνουν αντιστοιχίες ηρώων του βιβλίου με της γνωστής μυθολογίας (για παράδειγμα ο Yu

Tsun του βιβλίου είναι αντίστοιχα ο Θησέας). Ενδεχομένως πάνω στη συγκεκριμένη χωρική θεώρηση των λαβυρίνθων να μπορούμε συνεχίζοντας να δούμε την ιδέα του “Möbius Strip” και του συνεχούς χώρου όπου το εσωτερικό και το εξωτερικό ενοποιούνται. Κατ’ επέκταση, η λογική αυτή γίνεται εμφανής στο ομώνυμο “Möbius House” του Ben van Berkel. Αντίστοιχες έννοιες συναντάμε και στο “Endless House”. (βλ. εικόνες 18-20)

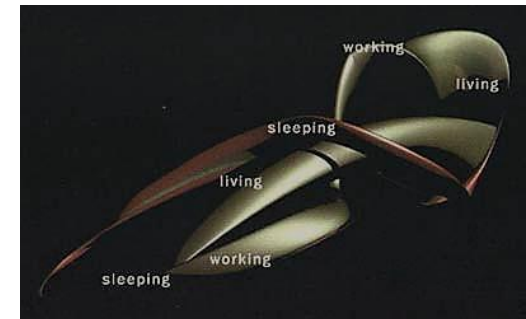
[άρθρο από http://goliath.ecnext.com/coms2/gi_0199-3540226/A-labyrinth-of-symbols-exploring.html]

1.3 Από τους αριθμούς της φύσης στους σχηματισμούς της αρχιτεκτονικής

Εκτός από τα γεωμετρικά σχήματα ενδιαφέρον ίσως παρουσιάζουν και κάποιοι αριθμοί. Για παράδειγμα, η τριάδα, τετράδα, πεντάδα και δεκάδα έχουν ξεχωριστή σημασία και έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλές οργανώσεις και ίχνη τους βρίσκονται σε θρησκευτικές τελετές. Αυτός ο «Αριθμητικός Μυστικισμός» γέννησε την Εβραϊκή Καμπάλα, η οποία έχει και σχέση με άλλα υπόγεια ρεύματα (Μασονικές οργανώσεις, Μεσαιωνική μαγεία κτλ). Για τους Πυθαγόρειους σημαντικότερος ήταν ο αριθμός πέντε και η πεντάδα, το δέκα και η δεκάδα. Αναφέρουμε χαρακτηριστικά το πέντε ως τον αριθμό της αγάπης που συμβολίζει ταυτόχρονα την υγεία και την αρμονία. Πολλές οργανώσεις και όχι μόνο, έχουν χρησιμοποιήσει τις αντίστοιχες γεωμετρικές και τα σύμβολα που προκύπτουν από την επεξεργασία της



Εικόνα 18: Möbius House, Ben van Berkel



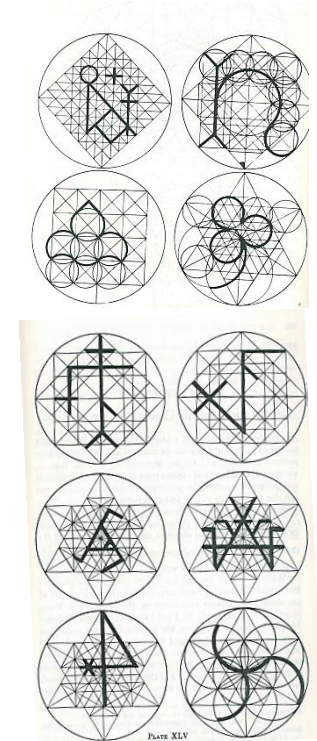
Εικόνα 19: Συνεχής χώρος και πρόγραμμα, Möbius House, Ben van Berkel



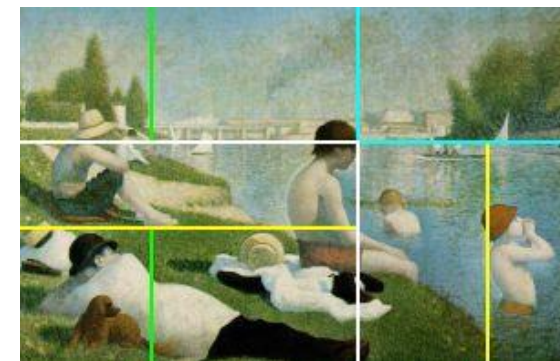
Εικόνα 20: Endless house

χρυσής τομής και των «ειδικής» σημασίας αριθμών για σύμβολά τους και συνδέοντάς τα με τα πιστεύω και την φιλοσοφία τους. Για παράδειγμα, η πεντάλφα, τα μασονικά σύμβολα κ.α. [Ghyka M., 1977] Διαγράμματα τέτοιας ανάλυσης γίνονται επίσης σε ζωγραφικούς πίνακες, αλλά και σε γλυπτά, τα οποία έχουν επηρεαστεί πολύ από τις αναλογίες που προκύπτουν από την χρυσή τομή και τις λοιπές γεωμετρίες της φύσης. Ακόμη, η γεωμετρία αυτή έχει επηρεάσει τον Dürer και άλλους κυβιστές ζωγράφους οι οποίοι στηρίζουν τα έργα τους στις γεωμετρικές χαράξεις. Επίσης, την παρουσία του Φ και των αρμονικών χωρισμάτων βλέπουμε και στους πίνακες του Seurat (1859-1891). (Βλ. εικόνα 22)

Έχουν γίνει πολλές μελέτες και αναλύσεις στα σχέδια των πρωτομαστόρων του γοτθικού ρυθμού και ανακαλύπτουν όλες τις αναλογίες και την γεωμετρία που κρύβεται πίσω από αυτά (βλ. εικόνα 23-24). Μάλιστα, το βασικό γοτθικό διάγραμμα, το διάγραμμα κλειδί, περνούσε στο χέρι από δάσκαλο σε δάσκαλο και από αυτό προέκυπταν οι μετέπειτα αναλογίες των κατόψεων, όψεων κτλ. Όλες οι σχέσεις και αναλογίες στη φύση που αναφέραμε παραπάνω, αποκρυπτογραφούνται και μεταφράζονται στα δικά μας δεδομένα μέσω της γλώσσας των μαθηματικών (της γεωμετρίας), όπου αναλύονται και μελετώνται. Στη συνέχεια, βλέπουμε ουσιαστικά το πώς η αρχιτεκτονική έρχεται να αντιγράψει και να δανειστεί μέσω αυτής της γλώσσας την ουσία της ανάπτυξης της φύσης. Αυτή η μεταφορά και η επανακωδικοποίηση, στην γλώσσα της αρχιτεκτονικής τώρα, γίνεται και με το πέρασμα των αναλογιών αυτών σε κατόψεις κτλ. (βλ. εικόνα 24) Οι γεωμετρίες και οι αναλογίες της φύσης έχουν συναρπάσει (και συνεχίζουν) τον αρχιτεκτονικό κόσμο καθώς οι μορφές τους κρύβουν πολλά συστήματα από πίσω. Ακόμη, έχει νόημα και σκοπό το πώς

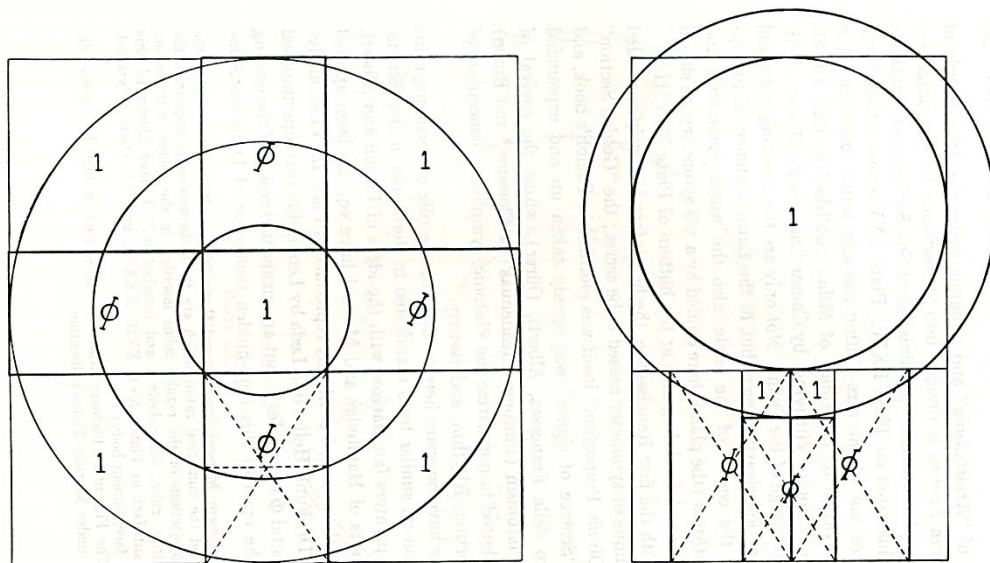


Εικόνα 21: Μασονικά σύμβολα

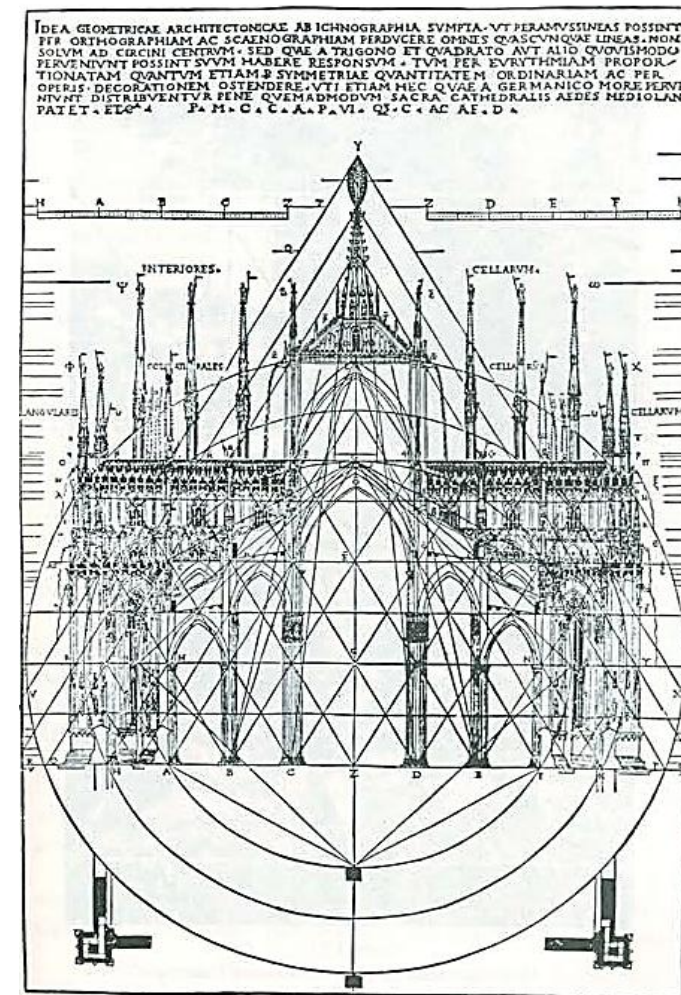


Εικόνα 22: Πίνακας Seurat (1859-1891)

είναι το καθετί (Αρχή ελάχιστης δράσης κτλ). Έτσι το πέρασμα στην αρχιτεκτονική αποκτά περισσότερο ενδιαφέρον από μια απλή μορφολογική μεταφορά σε άλλη κλίμακα.



Εικόνα 23: Διαγράμματα για κατόψεις Γοθικών ναών.

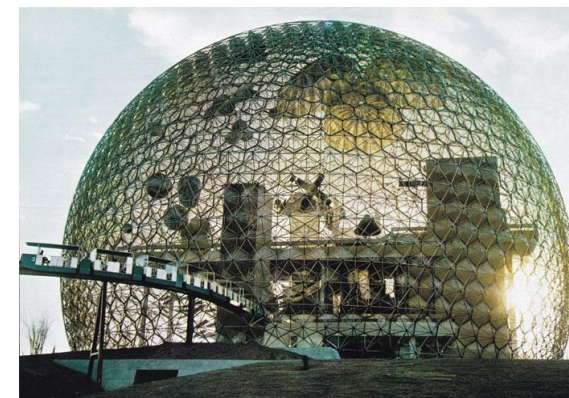


Εικόνα 24: Καθεδρικός ναός, Μιλάνο, Κάτοψη και Τομή (Caesar Cesarino, 1521)

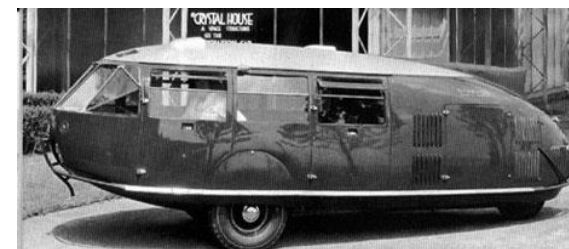
Για παράδειγμα, το ρεύμα των μεταβολιστών επηρεάστηκε πολύ από αυτές τις αναλύσεις και σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα που θα δούμε σε παρακάτω ενότητα, γίνονται πιο κατανοητά τα οικοδομήματά τους. Ίσως έχει ενδιαφέρον να δούμε κάποιες ανθρώπινες κατασκευές δίπλα σε κάποιες της φύσης. Ο Buckminster Fuller για παράδειγμα, έφτιαξε τον γεωδαιτικό θόλο του για την έκθεση στο Μόντρεαλ (1967), ο οποίος αποτελούνταν από πεντάγωνα γύρω γύρω συμπληρωμένα από εξάγωνα.

Η ένωση πενταμελών και εξαμελών δακτυλίων μπορεί να οδηγήσει μόνο σε αυτή την σφαιρική γεωμετρία που είναι ακριβώς σαν την μπάλα του ποδοσφαίρου. Το πεντάγωνο πρέπει πάντα να περικλείεται από πέντε εξάγωνα χωρίς ποτέ να συνδέονται πεντάγωνα μεταξύ τους. Αυτή η μορφή υπάρχει στη φύση και ανακαλύφθηκε η μικρότερη δυνατή τέτοια μπάλα το 1985 από μια ομάδα επιστημόνων χημικών. Ο H. Kroto, Heath, O'Brien, Curl και Smalley ανακάλυψαν τον «άνθρακα 60», C_{60} , ο οποίος αποτελεί την τρίτη αλλοτροπική μορφή του άνθρακα (οι άλλες δύο είναι το διαμάντι και ο γραφίτης), η οποία είναι πολύ σταθερή μορφή λόγω της εικοσαεδρικής γεωμετρίας της. Το μόριο αυτό το ονόμασαν³ μάλιστα προς τιμήν του Fuller, Buckminsterfullerene.[Χημικά Χρονικά, 2010]

³ Οι Kroto, Smalley, και Curl βραβεύτηκαν με το Nobel Χημείας το 1996 για την ανακάλυψή τους. Το C_{60} τώρα πια είναι γνωστό ως φουλλερένιο και πολλές ομάδες επιστημόνων-ερευνητών χημείας, φυσικής, και υλικών στον κόσμο και κάποιες στην Ελλάδα ασχολούνται με αυτό το μόριο και παράγωγά του.



Εικόνα 25: B.Fuller's Geodesic Dome, Montreal 1967

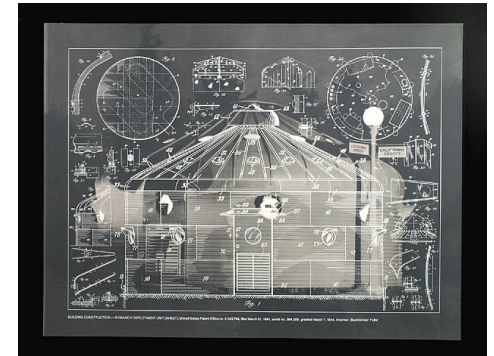


Εικόνα 26: Fuller's Dymaxion Car

Ο Fuller έχτισε πολλά σπίτια, περίπτερα τα οποία ονόμαζε “dymaxion dwellings” και είχαν όλα αυστηρή γεωμετρική δομή για λόγους οικονομίας ενέργειας και έργου. Μπορούν ίσως και αυτά να παραλληλιστούν με την λογική των δομών της φύσης που αναλύσαμε παραπάνω [Neder F., 2008]

Η χρήση της γεωμετρίας και η έννοια της συμμετρίας κατά τον Βιτρούβιο είχε ξεχαστεί έχοντας υποστεί κριτική ειδικά από το μανιφέστο της «α-γεωμετρικής» σχολής του Perrault. Αργότερα όμως με τον Palladio, τον Christopher Wren και ειδικά με το πιο “επιστημονικό” ρεύμα του Μπαρόκ της Ιταλίας, Ισπανίας και νότιας Γερμανίας, αναφέρθηκε πάλι αυτή η «χαμένη» γεωμετρία. Το ρεύμα αυτό του Μπαρόκ χρησιμοποίησε την έλλειψη και την λογαριθμική σπείρα στα σχέδια του, παράδειγμα τα «μεταφυσικά θέατρα» (το Sheldonian Theatre της Οξφόρδης και το Hotel de Crillon του Gabriel). Ο Carl Jung μελέτησε πολλά σύμβολα στα οποία το υποσυνείδητο είναι περισσότερο δεκτικό. Τα περισσότερα από αυτά είναι κυκλικά διαγράμματα και ο ίδιος τα αποκαλούσε «Mandala Symbols» λόγω της αναλογίας τους με τα «mandalas» από το Θιβέτ. Αυτά τα σύμβολα χρησιμοποιούνται και σε διαλογιστικές πρακτικές, αλλά και σε κάποιες θρησκείες λόγω της γαλήνιας αίσθησης που προκαλούν αυτά τα κυκλικά αφαιρετικά μοτίβα.

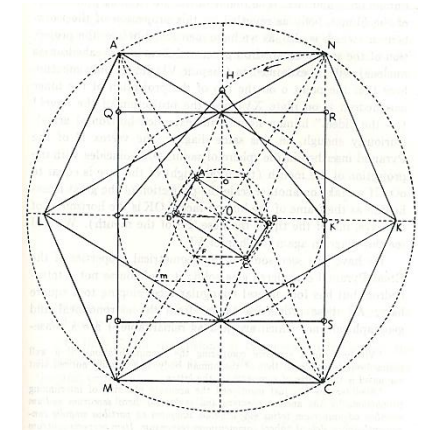
Εδώ έρχεται πάλι η αρχιτεκτονική να παραθέσει τα διαγράμματα της Μεγάλης Πυραμίδας τα οποία παρουσιάζουν παρόμοιες γεωμετρικές ιδιότητες. Σε έρευνα που έχει γίνει πάνω στις πυραμίδες και συγκεκριμένα στον βασιλικό Θάλαμο, βρίσκουμε την σχέση του εικοσαέδρου και της γεωμετρίας της σφαίρας στον σχεδιασμό της κάτοψης (βλ.εικόνα 26). Το διάγραμμα αυτό αποκαλύπτει και άλλες ιδιότητες με την προβολή του εικοσαέδρου και αυτή είναι η συσχέτιση της με την «συμμετρία» (με την έννοια του



Εικόνα 27: Fuller's Dymaxion House



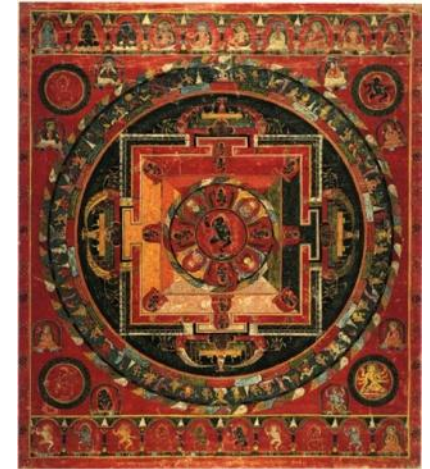
Εικόνα 29: Mandala Symbol



Εικόνα 28: Ο βασιλικός Θάλαμος της Μεγάλης Πυραμίδας και το εικοσαέδρο

Βιτρούβιου) του ιδανικού (ή μέσου) ανθρώπινου σώματος και προσώπου [Ghyka M., 1977].⁴ Τέτοια παραδείγματα θα μπορούσαν ίσως να αναφερθούν ως περιπτώσεις “synchronicity”, έννοιας που εισάγει ο Jung για την εμπειρία γεγονότων τα οποία είναι ξένα από αιτία, αλλά βαθιά ενωμένα με νόημα. Το φαινόμενο έχει περάσει στο γενικό λεξιλόγιο ως Baader-Meinhof, αλλά δεν είναι στα άμεσα ενδιαφέροντα αυτής της εργασίας.

Στη φύση οι μορφές έχουν όπως είδαμε νόημα και το ίδιο και η ανάπτυξη των οργανισμών. Άραγε υπάρχει κάτι τέτοιο στην αρχιτεκτονική; Μπορούμε ίσως να παραλληλίσουμε την αρχή της ελάχιστης δράσης των ανόργανων συστημάτων με το «Form follows Function» του Sullivan. Η φανξιοναλιστική «σχολή» του Le Corbusier υποστηρίζει αυτή τη λογική του νοήματος της μορφής. Αυτό το ρεύμα επανέφερε την Θεωρία του Χώρου και τους καθαρούς όγκους και γεωμετρία. Δεν θα αναλύσουμε αυτή την αρχιτεκτονική ούτε θα την επιδοκιμάσουμε, αλλά θα δούμε λίγο τη σχέση της με ό,τι αναφέρθηκε προηγουμένως στο κεφάλαιο αυτό. Η σχέση της αρχιτεκτονικής με την μηχανική και τις επιστήμες που σχετίζονται με την κατασκευή έγινε στενότερη τον 20^ο αιώνα, τον αιώνα των επιστημονικών ανακαλύψεων και των μεγάλων αλλαγών άλλωστε. Ο τρόπος ανάπτυξης των φυτών και των ζώων ταίριαζε πολύ με τις ανθρώπινες κατασκευές. Η Golden Gate Bridge ίσως δίνει την αισθητική εντύπωση τέλεια ισορροπημένων τάσεων και δυνάμεων, όπως ένας καθεδρικός ναός γοτθικού ρυθμού. Ο Le Corbusier χρησιμοποιούσε τις αναλογίες ως εργαλείο για τα σχέδιά του και την χρυσή τομή ως οργανωτικό στοιχείο. Αυτό φαίνεται και



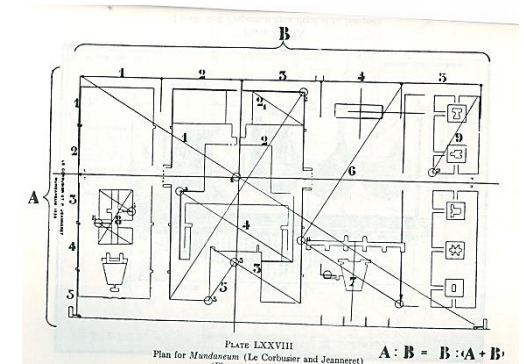
Εικόνα 30: Mandala Symbol

⁴ Η “αρμονική σύνθεση” αποτελεί τεχνική, η οποία εκτός από ζωγράφους χρησιμοποιείται και από αρχιτέκτονες όπως ο Claude Bragdon.

στην κάτοψη του «Mundaneum» (World centre of Studies and Artistic and Scientific Co-ordination στη Γενεύη) [Ghyka M., 1977].

Από την μαθηματική έννοια της μορφής περνάμε εύκολα στην στατική διάσταση της μορφής αλλά και στις δυναμικές σχέσεις της. «Από την έννοια της μορφής περνάμε στην κατανόηση των δυνάμεων που την δημιουργήσαν. Στην αναπαράσταση της μορφής και στην σύγκρισή της με συγγενείς μορφές, βλέπουμε στην πρώτη περίπτωση ένα διάγραμμα δυνάμεων σε ισορροπία και στην άλλη περίπτωση καταλαβαίνουμε το μεγαλείο και τις κατευθύνσεις των δυνάμεων που αρκούσαν στην μετατροπή της μιας μορφής στην άλλη ... Μαθαίνουμε από τον Henri Poincaré ότι υπάρχει ακόμα κι ένας άλλος τρόπος να δούμε την λειτουργία των μαθηματικών και να καταλάβουμε γιατί οι νόμοι και οι μέθοδοί τους οπωσδήποτε βρίσκονται πίσω από όλα τα στοιχεία των φυσικών επιστημών. Κάθε φυσικό φαινόμενο, όσο απλό και να είναι, είναι στην ουσία σύνθετο και κάθε ορατή δράση-πράξη και αποτέλεσμα είναι άθροισμα αμέτρητων μικρότερων ενεργειών (πράξεων). Εδώ τα μαθηματικά δείχνουν την παράξενη δύναμή τους, να συνδυάζουν και να γενικεύουν. Η εξίσωση μιας καμπύλης είτε η περιγραφή ενός κυτταρικού ιστού μπαίνουν στο πεδίο των μαθηματικών επειδή είναι αθροίσματα από πιο στοιχειώδεις αρχές ή φαινόμενα.» [Thomson D'Arcy, 1992, p.270]

Ειδικά στην εποχή μας, οι κατασκευαστικές μέθοδοι πολύπλοκων κτηρίων ή δύσκολων μορφών απαιτούν την χρήση της γλώσσας των μαθηματικών και μάλιστα μέσα από ειδικά προγράμματα (3D modeling). Η αποκωδικοποίηση στοιχείων της φύσης (όπως η ανάπτυξη στα όστρακα, η συστροφή στα κέρατα των ζώων, το περίγραμμα των φύλλων και πολλά άλλα) έχει δώσει στους αρχιτέκτονες και τα εργαλεία και την γνώση για μορφολογικό δανεισμό (αλλά και για δανεισμό στον τρόπο σύνθεσης). Για

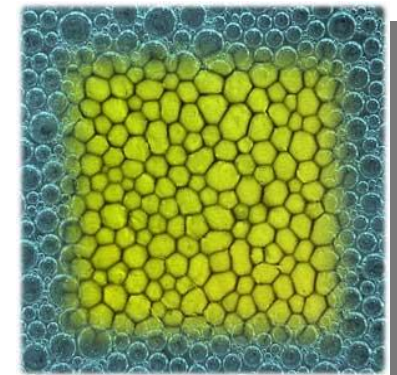


Εικόνα 31: Κάτοψη του Mundaneum, Le Corbusier, (και Jeanneret)

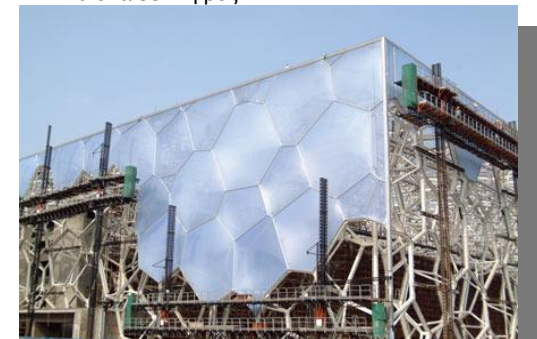
παράδειγμα, οι καμπύλες στα κτήρια του Frank Gehry θυμίζουν πολύ σχήματα της φύσης (και ίσως έχουν ποιότητες και καμπύλες από άλλες «αρχιτεκτονικές» όπως για παράδειγμα από Βυζαντινούς ναούς) και δημιουργούνται με ειδικό λογισμικό (το Digital Project το οποίο είναι δικό του λογισμικό βασισμένο στο CATIA). Το μουσείο Guggenheim στο Bilbao έχει ειπωθεί (από τον ίδιο τον Gehry) ότι μοιάζει με λουλούδι ανοιγμένο και λειτουργεί σαν κόσμημα αλλά και σαν σύμβολο για την πόλη. Θα δούμε βέβαια σε επόμενο κεφάλαιο το συγκεκριμένο κτήριο μέσα από το πρίσμα της πολυπλοκότητας, καθώς δεν είναι ίσως όλα τόσο απλά και φορμαλιστικά όπως φαίνονται ή εξηγούνται. Ένας ακόμη δανεισμός της αρχιτεκτονικής είναι οι επιδερμίδες των κτηρίων (και τα κτήρια με 'κέλυφος') οι οποίες εξυπηρετούν σκοπούς του κτηρίου (σκιασμός, δροσισμός, αερισμός ή για συνθετικούς λόγους) και έχουν βάσεις σε κατασκευές της φύσης. Από την γεωμετρία των μελισσιών περνάμε σε χωρικές κατασκευές των μεταβολιστών. Από την ανάλυση του αφρού σε σαπουνόφουσκες και του τρόπου χωροθέτησής τους σε περιορισμένο χώρο (οι γεωμετρίες τους παρουσιάζουν συγκεκριμένους κανόνες και γωνίες επαφής μεταξύ τους), προκύπτει το «Aquatic Stadium» στο Πεκίνο. Οι πολύπλοκες επιδερμικές φουσκάλες του κολυμβητηρίου έχουν τη βάση της πολύπλοκης καμπυλόμορφης γεωμετρίας τους ακριβώς στο παραπάνω concept (Γνωστό ως Water Cube, των PTW Architects, Πεκίνο 2008). Η λύση για την δημιουργία του μοτίβου έρχεται από την σύνθεση πολυέδρων. Η γεωμετρική πρόκληση πίσω από την ιδέα που γέννησε αυτή την κατασκευή ήταν το πως μπορεί κανείς να φτιάξει τον πιο αποτελεσματικό αφρό, δηλαδή τέτοιοι ώστε να τεμαχίζει τον χώρο σε κυψέλες ίσου όγκου με την ελάχιστη δυνατή επιφάνεια. Αυτό λύθηκε από τον φυσικό, λόρδο Kelvin, αλλά το 1993 βρέθηκε η βέλτιστη λύση από τους φυσικούς, Denis Weaire και Robert Phelan οι οποίοι χρησιμοποίησαν δωδεκάεδρα και δεκατετράεδρα. Η κατασκευή που πήρε το όνομά της από τους δύο



Εικόνα 32: Guggenheim Bilbao, Frank Gehry



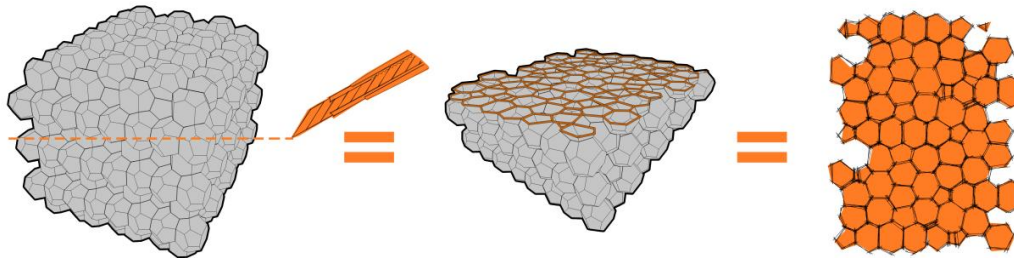
Εικόνα 33: Αφρός



Εικόνα 34: Water Cube, των PTW Architects, Πεκίνο 2008

φυσικούς, κομμένη (στην βέλτιστη γωνία) στις 111 μοίρες μας δίνει την επιφάνεια του κτηρίου η οποία είναι ταυτόχρονα και η δομή του. Η γεωμετρία που προκύπτει είναι πολύ σταθερή και δίνει στο κτήριο ελαστικότητα και αντοχή όπως λένε οι μηχανικοί του.

[http://www.oasys-software.com/information/case_studies/water_cube.shtml]



Εικόνα 36

Ο Greg Lynn χρησιμοποιεί διαδικασίες με την βοήθεια υπολογιστή (computer-aided processes), οι οποίες βασίζονται σε βιολογικά συστήματα ανάπτυξης, στην εξέλιξη και σε μετασχηματισμούς χρησιμοποιώντας το animation αντί για συμβατικούς τρόπους σχεδιασμού. Ψάχνει επίσης τις παραμορφώσιμες επιφάνειες και τις εξωτερικές φυσικές δυνάμεις. Στα λεγόμενά του χρησιμοποιεί λεξιλόγιο με όρους από τις πιο πρόσφατες επιστήμες. Μιλάει για δυναμικά συστήματα, κίνηση, μετάλλαξη σε αντίθεση με τις στατικές, αδρανείς μορφές. Ακόμη, αναφέρεται στον εξελικτισμό, ευέλικτο και ευμετάβλητο χώρο ο οποίος εξαρτάται από τη «διακύμανση των εξωτερικών, αόρατων δυνάμεων όπως η βαρύτητα, ο άνεμος, οι αναταράξεις, ο μαγνητισμός και τα σμήνη κινούμενων σωματιδίων. Αυτές οι επιδράσεις χρησιμοποιούνται ως αφαιρετικές αναλογίες για, πεζούς και κίνηση αυτοκινήτων,



Εικόνα 35: Water Cube, των PTW Architects, Πεκίνο 2008



Εικόνα 37: The Hive, created by Mostapha El Ouhlani, a designer from Morocco.

περιβαλλοντικές δυνάμεις όπως αέρας, άνεμος και ήλιος, αστικές θέες και προσανατολισμούς και εντάσεις χρήσεων και απασχόλησης σε συνάρτηση με το χρόνο» [Lynn G., 2008]. Όπως λέει ο ίδιος, οι αρχιτέκτονες πάντα προσπαθούσαν να αιτιολογήσουν την ομορφιά κοιτώντας την φύση και η (αμφιλεγόμενα) «όμορφη» αρχιτεκτονική πάντα κοιτάζει στα μοντέλα της φύσης. Συνεχίζοντας, αναφέρεται στην αρχιτεκτονική των αναλογιών και των συμμετριών. Θεωρεί ότι ο λόγος που υπήρχε για τόσα χρόνια (πάνω από 300 λέει ο ίδιος) το πάθος και η εμμονή στις αναλογίες, είναι διότι το δεκαδικό σύστημα μέτρησης δεν είχε ανακαλυφθεί μέχρι τα τέλη του 16^{ου} αιώνα. Έτσι, όλες οι διαστάσεις ήταν μέρη και υποσύνολα όλης της κατασκευής [Lynn G., 2008, pg8]. Αναφέρει για την γοθτική γεωμετρία, η οποία βασιζόταν στην σύνθεση και διοχέτευση δυνάμεων, τόσο κατασκευαστικά όσο και αισθητικά. Το σημαντικό στη γοθτική αρχιτεκτονική, κατά τον Lynn, είναι ότι για πρώτη φορά η κίνηση και η δύναμη αντιμετωπίζονταν ως προς την μορφή. Στη σημερινή εποχή, το μοντέλο της «φυσικής μορφής» υπάρχει με τη χρήση του calculus μέσω των ψηφιακών εφαρμογών. Τεχνικές και αντιμετωπίσεις υπάρχουν πολλές στο πώς ενσωματώνει κάποιος (αρχιτέκτονας) παράγοντες δυνάμεων και φυσικών παραμέτρων στην σύνθεσή του πρακτικά. Για παράδειγμα,

- Ο Gaudi με τις γνωστές κρεμαστές ανάποδες κατασκευές (μακέτες) του, που προσομοίωνε την βαρύτητα
- Ο Frei Otto με τα “foam bubble” διαγράμματα και μοντέλα του έφτιαξε το Concert hall του
- Ο Norman Foster χρησιμοποίησε “thermotransfer models” για την οροφή της εθνικής γκαλερί [Lynn G., 2008, p.9]



Εικόνα 39: Honeycomb, hexagonal symmetry



Εικόνα 38: Hexagonal Tiling



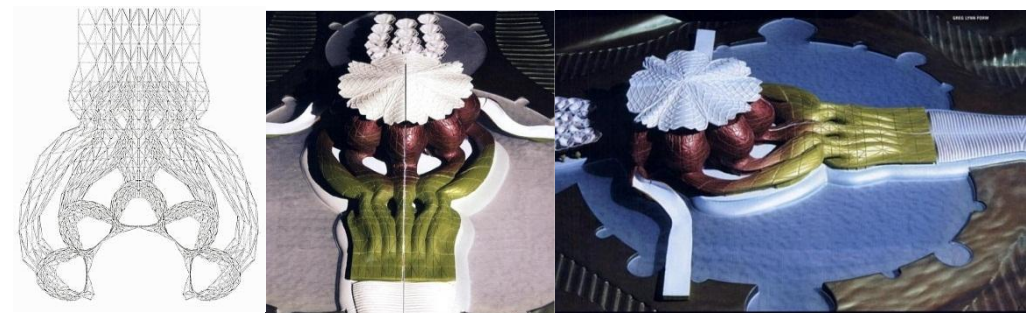
Εικόνα 40: Australian firm Lyons' new campus building for a college in Warrnambool, Australia, has a glazed façade made up of hexagonal apertures tilted down towards the street.

Στο “Animate Form” του ο Lynn αναφέρει ότι οι δυνάμεις του περιβάλλοντος μπορούν να βοηθήσουν την κατανόησή μας στο πως οι μορφές παίρνουν το σχήμα τους. Ο,τι ακριβώς είδαμε δηλαδή για την μορφογένεση στη φύση. Ακόμη, δίνει το παράδειγμα της μορφής του αεροπλάνου, το οποίο έχει συγκεκριμένους λόγους που έχει αυτή τη μορφή, αλλά οι δυνάμεις που το επηρεάζουν δεν αλλάζουν από μόνες τους την μορφή, αλλά η κατανόηση αυτών βοηθάει και επηρεάζει τον σχεδιασμό του. Παραλληλίζει έπειτα την γέννηση της αρχιτεκτονικής μορφής με το παράδειγμα αυτό του αεροπλάνου και σχολιάζει ότι αυτό αφήνει τις μορφές στατικές [Lynn G., 1999].

Η κριτική στον Lynn βασίζεται στο γεγονός ότι ακόμα και τα project που μιλούν και αναφέρονται σε δυναμικά φαινόμενα, αλλαγή, ροή κτλ καταλήγουν στην πράξη στατικά υλοποιημένα αντικείμενα. Αυτό γίνεται είτε προέρχονται από σχεδιασμό με παλιές μεθόδους είτε γίνεται με animation ή διαγράμματα καταστροφών ή μοντέλα καιρικών συνθηκών ή οτιδήποτε άλλο έχει χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς από αρχιτέκτονες. Στον Lynn συγκεκριμένα, αν δούμε τα υλοποιημένα project του (και αν τα δούμε ως υλοποιημένες μορφές) βρίσκουμε ίσως περισσότερη σχέση με βιολογικά μοντέλα και μορφές της φύσης. Για παράδειγμα το Predator house και άλλα.



Εικόνα 43: Predator House, Installation, Greg Lynn



Εικόνα 42: Biomimetic Project, Greg Lynn



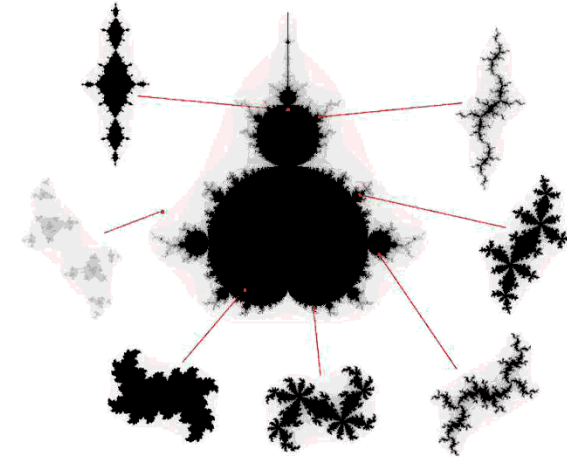
Εικόνα 41: Κέντρο Αραβικού Κόσμου, skin κτηρίου, Jean Nouvel, Γαλλία

2. Fractals, μέτρο τάξης και αταξίας

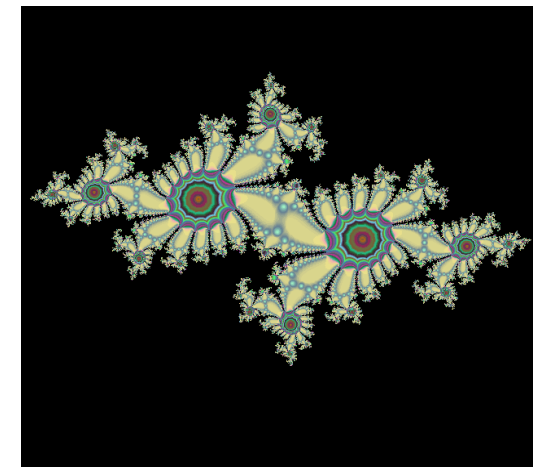
Από την γεωμετρία και την δομή της φύσης περνάμε στους σχηματισμούς των «fractal», μιας γεωμετρίας που συναντάται κατ'εξοχήν στην ίδια τη φύση και χρησιμοποιείται όπως θα δούμε ως μέτρο τάξης και οργάνωσης του χώρου. Κυβερνάται από την έννοια της αυτο-ομοιότητας και της ατέρμονης επανάληψης της ίδιας της γεωμετρίας αυτής σε άλλες κλίμακες. Θα εξετάσουμε την σχέση της γεωμετρίας αυτής με την αρχιτεκτονική καθώς και ποιά άλλα επιστημονικά πεδία αγγίζει.

2.1 Fractal: έννοιες, ορισμοί και παραδείγματα στην αρχιτεκτονική

Ο Mandelbrot εισήγαγε τον όρο «fractal» από το Λατινικό fractus το οποίο περιγράφει μια σπασμένη και ακανόνιστη πέτρα. Τα fractal είναι γεωμετρικά σχήματα τα οποία δεν είναι «κανονικά», όπως τα σχήματα της Ευκλείδειας γεωμετρίας. Η βασική ιδιότητα των fractal είναι η αυτο-ομοιότητά (self-similarity) τους, δηλαδή σε όποια κλίμακα και να τα κοιτάξεις φαίνονται ίδια. Παρουσιάζουν την ίδια μη κανονικότητα σε όλο τους το σχήμα και σε όλες τις κλίμακες. Το κάθε μέρος και υποσύνολο των fractal είναι εικόνα του όλου [Abrams I., 2008]. Υπάρχουν επίσης διάφορες παραλλαγές και μορφές των fractals, ο Nikos Salingaros ξεχωρίζει δύο βασικές κατηγορίες, τα:



Εικόνα 44: The Mandelbrot set is said to be the most complicated figure in mathematics yet, mathematically, it is very easy to describe: $Z_1 = Z^2 + C$



Εικόνα 45: The Mandelbrot set is an infinite catalog of determinate structures. The Julia set is defined as the set of points that border and separate basins of attraction of an attractive cycle. The Julia sets associated with the Mandelbrot set are determinate states in two dimensions.

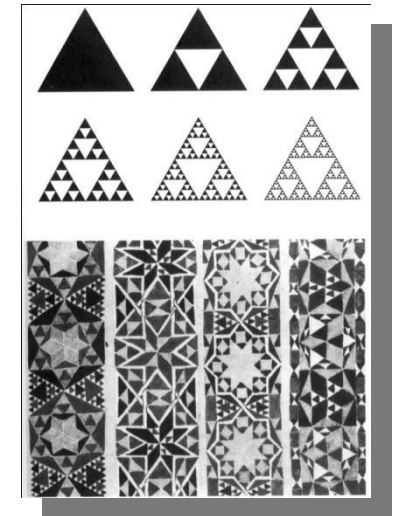
- «Διάτρητα» (perforated) τα οποία είναι fractal που αφαιρούν όλο και μικρότερα κομμάτια τους. Είδη τέτοιων fractal είναι τα «gaskets, sponges και sieves».
- «Αυξητικά» (accretive) τα οποία αντίστοιχα προσθέτουν ολοένα και μικρότερα κομμάτια δημιουργώντας την λεπτή δομή τους. Μπορούμε να έχουμε και τα 3D αυξητικά fractal με την ίδια λογική των δύο διαστάσεων. (Έχουμε για παράδειγμα ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο και προσθέτουμε τέσσερα μικρά παραλληλεπίπεδα πάνω από τις γωνίες του. Έπειτα συνεχίζουμε τη διαδικασία σε μικρότερη κλίμακα.)

Το «Sierpinsky gasket» είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα fractal με άπειρους αριθμούς μειούμενης κλίμακας. Πρόκειται για ένα τρίγωνο που μέσα του υπάρχουν ατελείωτα άλλα μικρά τρίγωνα τα οποία είναι εικόνα του όλου. Όμως, υπάρχουν και fractal τα οποία, παρόλο που είναι μόνο «στατιστικά» αυτο-όμοια (δηλαδή μεγενθύνοντας μικρά κομμάτια τους δεν βλέπουμε ολόκληρο το σύστημα), παρουσιάζουν την ίδια γενική εικόνα [Abrams I., 2008]. Τα γεωμετρικά fractals προέρχονται γενικά από μια κατασκευαστική διαδικασία, η οποία αποτελείται από αναδρομικές συναρτήσεις (recursive functions) και συνήθως παρουσιάζουν κλιμακωτή αυτο-ομοιότητα. Τα σημαντικότερα fractal βέβαια, όπως το «Mandelbrot set» δεν είναι «αυστηρά» αυτο-όμοιο. Όμως, τα μοτίβα και οι μορφές των fractal λόγω της (έστω γενικής σε κάποια) αυτο-ομοιότητάς τους είναι κατά πολύ ανεξάρτητα από την κλίμακα. Οι ιδιότητες αυτές συχνά σχηματίζονται (διαμορφώνονται) καλύτερα με τα στοχαστικά fractals στα οποία η κλιμάκωση και η αυτο-

ομοιότητα δεν αποτελούν ακριβή μοτίβα αλλά προσεγγιστικά (στατιστικά). Τέτοιες είναι και οι «Brownian fractal» επιφάνειες [Υ.Κ.Lee1995]

Όπως έχει πει και ο Mandelbrot, τα fractal είναι ένας τρόπος να κοιτάξουμε το άπειρο. Αναφερόταν ουσιαστικά στην ιδιότητα των fractal να επαναλαμβάνονται όσο και αν μεγενθύνουμε (άπειρο μέγεθος). Γνωστό παράδειγμα σε δημοσίευσή του έθετε την ερώτηση «Πόσο μήκος έχει η ακτογραμμή της Βρετανίας;» Το αποτέλεσμα εξαρτάται πολύ από το μέγεθος με το οποίο μετράμε, αν μετράμε με ακρίβεια μέτρου θα πάρουμε μια προσεγγιστική τιμή. Έτσι όμως, παραβλέπονται οι μικρές γωνίες και σχισμές οπότε αν ξαναμετρήσουμε με ακρίβεια 10cm θα βγει μεγαλύτερο το μήκος γιατί η μέτρηση θα περιλαμβάνει όλους αυτούς τους μικρούς χώρους που αφήνει η ακρίβεια του μέτρου, για παράδειγμα. Συνεχίζοντας παρόμοια μειώνοντας ολοένα την κλίμακα μέτρησης το μήκος συνεχώς αυξάνεται. Όταν μειώσουμε πάρα πολύ την κλίμακα μέτρησης το μήκος της ακτογραμμής μεγαλώνει χωρίς όριο [Abrams I., 2008, p. 32].

Ο Benoit Mandelbrot, ο πρωτοπόρος των «fractals», έγραψε το 70' το βιβλίο «Fractals: Forms, Chance and Dimensions» και το 77' την εμπλουτισμένη επανέκδοση με τίτλο «The fractal Geometry of Nature», τα οποία μαζί έπαιξαν βασικό ρόλο στην εμφάνιση της θεωρίας του Χάους. Ο David Ruelle ήταν από τους πρώτους που ανέφεραν τον όρο «Χάος» και η δουλειά του στα φαινόμενα της «αναταραχής στα ρευστά» (fluid turbulence) έδωσε την μεγάλη αρχική ώθηση στην θεωρία αυτή. Η γεωμετρία των fractal χρησιμοποιείται για να περιγράψουμε πολύπλοκα φαινόμενα και βοηθάνε στην κατανόηση της



Εικόνα 46: Sierpinski gasket and M.C. Escher's studies of patterns on the twelfth century pulpit of the Ravello Cathedral



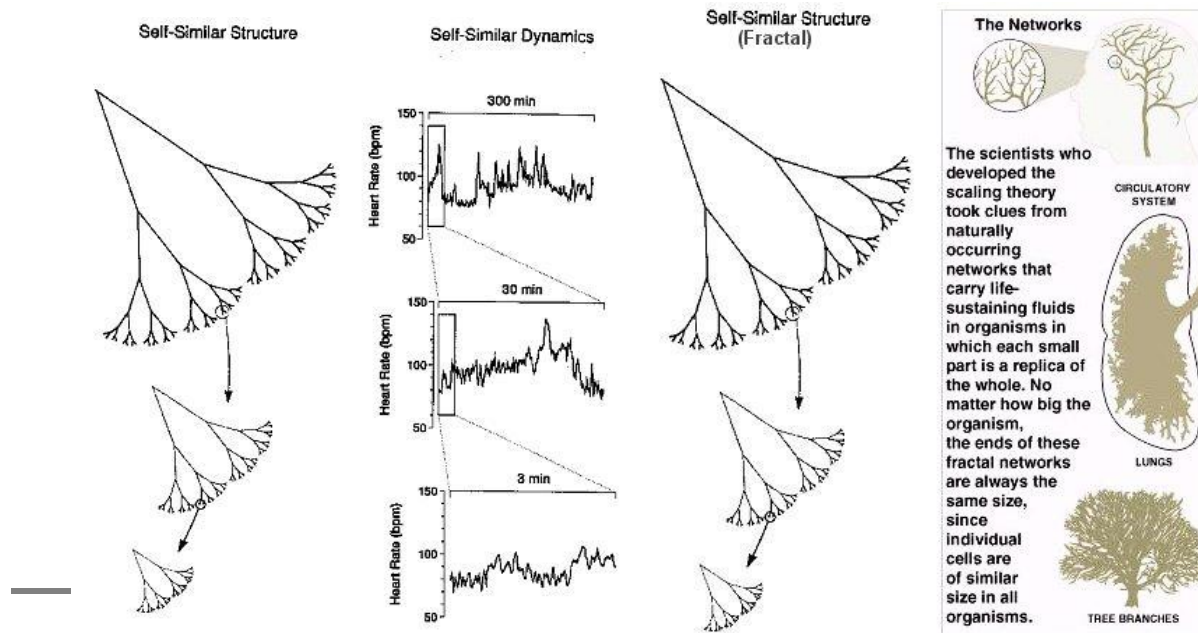
Εικόνα 47: Fractal ακτογραμμή

«αναταραχής» (όχι στο πώς ξεκινάει αλλά στην ίδια της την κίνηση). Μπορούν να αποκαλύψουν την αφαιρετική γεωμετρία του χάους, ειδικά μέσω των γραφικών του υπολογιστή.

Τα fractal έχουν άμεση σχέση με τη φύση, για παράδειγμα τα δέντρα και τα βουνά αποτελούν παραδείγματα fractals (εμφανίζουν fractal ιδιότητες για την ακρίβεια). Βρίσκονται παντού, ακόμα και στο σώμα μας. Οι πνεύμονες και το πεπτικό μας σύστημα είναι fractals και έτσι στριμώνχουν πολύ μεγάλη επιφάνεια μέσα σε περιορισμένο όγκο. Στον εγκέφαλο έχουμε ακριβώς την ίδια περίπτωση και βλέπουμε εδώ πάλι την λογική της φύσης που αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο (οικονομία ενέργειας και όγκου).



Εικόνα 48 Fractal ακτογραμμή



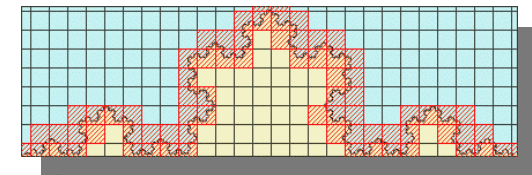
Εικόνα 49: Fractal στον οργανισμό



Εικόνα 50 Fractal broccoli

Η αρχιτεκτονική έχει σχέση με τα fractals σαν μια οποιαδήποτε άλλη γεωμετρία. Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, δανειζόμαστε μορφές και γεωμετρίες της φύσης στην αρχιτεκτονική, αλλά σε αυτό το σημείο πρέπει να κάνουμε ίσως ένα διαχωρισμό. Υπάρχει αρχιτεκτονική που χρησιμοποιεί εσκεμμένα και με αιτίες τις γεωμετρίες αυτές (είτε πρόκειται για fractal είτε για χρυσές τομές και αναλογίες) και υπάρχουν και περιπτώσεις όπου βρίσκουμε κάποιες ιδιότητες και ίχνη τέτοιων γεωμετρικών στοιχείων σε ήδη υπάρχουσα αρχιτεκτονική. Θα ασχοληθούμε σε αυτό το υποκεφάλαιο με αναλύσεις που έχουν γίνει σε κτήρια και τις fractal γεωμετρίες ή ιδιότητες που παρουσιάζουν.

Στην αρχιτεκτονική, τα fractal χρησιμοποιούνται ως **εργαλείο δημιουργίας**, όπως φαίνεται και στο έργο του Carl Bovill, ο οποίος χρησιμοποιεί fractal ρυθμούς για να φτιάξει αρχιτεκτονικά οργανωτικά στοιχεία όπως πλέγματα στις κατόψεις, ανοίγματα σχισμές μέχρι και μειωτές θορύβου. Τέτοια παραδείγματα χρήσης των fractal, μαζί και με τα τρισδιάστατα (fractal) και την εμφάνιση (και χρήση τους) στην αρχιτεκτονική, κάτι στο οποίο επιμένει ο Nikos Salingaros [Joye Y., 2007]. Ένας δεύτερος τρόπος σύνδεσης της fractal γεωμετρίας με την αρχιτεκτονική είναι με τη χρήση **τεχνικών μέτρησης** (με εφαρμογές που προκύπτουν από τέτοιες γεωμετρίες) στην ανάλυση της δομής κτηρίων. Η πιο γνωστή ίσως τεχνική για την μέτρηση της επαναληψιμότητας της λεπτομέρειας σε όλο και μικρότερες κλίμακες είναι η «μέτρηση διάστασης κουτιού» (box counting dimension). Ο Carl Bovill εφάρμοσε αυτή την τεχνική σε διάφορα κτήρια και βρήκε για παράδειγμα, ότι στην αρχιτεκτονική του Wright υπάρχει «αλληλουχία λεπτομερειών» σε διαφορετικές κλίμακες [Bovill C., 1996]. Ακόμη, στην αρχιτεκτονική (του μοντερνισμού) του Le Corbusier το «box counting dimension» μειώνεται στον αριθμό ένα για μικρότερες κλίμακες. Αυτό σχετίζεται με το



Εικόνα 51 the box counting method

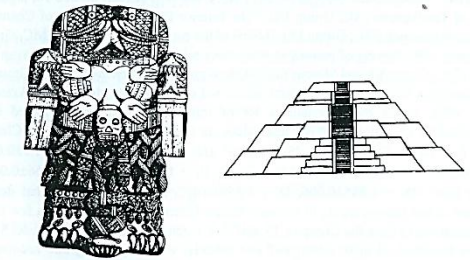
γεγονός ότι στην (οργανική όπως την έχουν αποκαλέσει) αρχιτεκτονική του Wright χρησιμοποιούνταν τέτοιες υφές και δομικά υλικά με τέτοιο τρόπο ώστε να ενσωματώνουν την πολυπλοκότητα και την τάξη της φύσης, ενώ η αρχιτεκτονική (του πουρισμού) του Le Corbusier απαιτούσε υλικά με βιομηχανικό τρόπο, πάντα υπό τη σκοπιά της αποτελεσματικότητας και της καθαρότητας της χρήσης [Joye Y., 2007]. Οι Burkle-Elizondo και Valdez-Cepeda χρησιμοποίησαν τεχνικές fractal μέτρησης για δουν την πολυπλοκότητα τριανταπέντε Μεσοαμερικανικών πυραμίδων. Βρήκαν ότι όλα τα μνημεία έχουν fractal διάσταση κοντά στο 1.3 [Joye Y., 2007]

Στην αρχιτεκτονική και την τέχνη των Μεσοαμερικανικών πολιτισμών έχουν βρεθεί μετά από αρκετές μελέτες, οι fractal ιδιότητες που παρουσιάζουν. Από το Γιουκατάν, την Ονδούρα, την Γουατεμάλα και τους πολιτισμούς των Μάγια, Αζντέκων και Ολμέκων πήραν δείγματα για τις γεωμετρικές αναλύσεις. Οι εικόνες που πήραν αναλύθηκαν στην συνέχεια μέσω του προγράμματος Benoit και έγινε η μερικώς fractal ανάλυσή τους. Η διαδικασία είναι κάπως πολύπλοκη και περιέχει τον καθορισμό του «Box Information» (D_i) και των «Mass dimensions» (D_m). Τα μεγέθη αυτά βρίσκονται και αναλύονται μέσα από μια πολύπλοκη διαδικασία και μέσω αυτών μπορούμε να συγκρίνουμε τα ευρήματα μεταξύ τους. Σε γενικές γραμμές, βρίσκουν την ποσότητα πληροφορίας και την επαναληψιμότητά της σε κάθε κελί και έτσι βρίσκουν fractal σχέσεις και την «fractal διάσταση» του κάθε αντικειμένου. Υπολόγισαν σε όλες τις περιπτώσεις την fractal διάσταση που υπάρχει και ίσως παρουσιάζει ενδιαφέρον ότι μεταξύ τους οι ναοί, αγάλματα κτλ

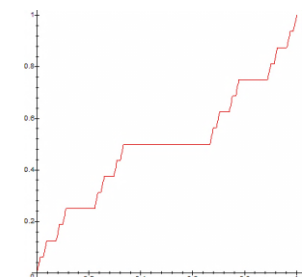
'Page 13b' from 'Dresden Codex' ($D_b = 1.909 \pm 0.004$, $D_i = 1.908 \pm 0.0008$), 'Page 55' from 'Borgia Codex' ($D_b = 1.949 \pm 0.01$, $D_i = 1.940 \pm 0.008$).

Table 1. Box (D_b), information (D_i), and mass (D_m) dimension, and their standard deviations (SD) for different Mesoamerican artistic and architectural work types.

Work Type	n	$D_b \pm SD$	$D_i \pm SD$	$D_m \pm SD$
Group I. Tablets from Palenque and other sites	15	1.918±0.010	1.932±0.002	2.018±0.111
Group II. Maya and other stelae	9	1.923±0.007	1.940±0.001	1.887±0.060
Group III. Maya hieroglyphs	15	1.910±0.008	1.903±0.003	2.036±0.088
Group IV. Frontal view of Maya pyramids, temples and other buildings	8	1.919±0.007	1.923±0.002	1.998±0.138
Group V. Calendar pages (tonalamatl) from codex	7	1.921±0.008	1.926±0.002	1.937±0.051
Group VI. Dresden and other codex pages		1.918±0.009	1.924±0.003	2.038±0.269
Group VII. Frontal view of great stone monuments	8	1.917±0.009	1.914±0.003	1.954±0.053
Group VIII. Circular astronomic and calendar great stones	7	1.900±0.006	1.877±0.003	1.975±0.047
Group IX. Murals of Mesoamerica	9	1.919±0.006	1.929±0.002	1.964±0.058
Group X. Maya vases (roll out) and other	12	1.883±0.013	1.888±0.003	1.966±0.214
Overall average	90	1.912±0.009	1.916±0.002	1.983±0.117



Εικόνα 53: Box counting dimension in Mesoamerican antiquities



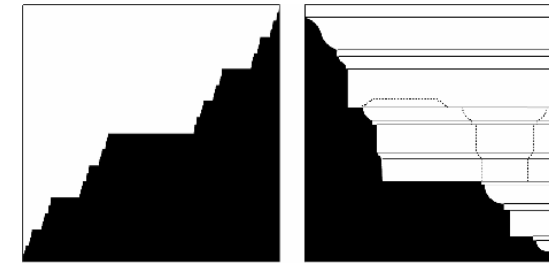
Εικόνα 52: In mathematics, the **Cantor function**, named after Georg Cantor, is an example of a function that is continuous, but not absolutely continuous. It is also referred to as the **Devil's staircase**

παρουσιάζουν πολύ παρόμοια χαρακτηριστικά και τιμές σε αυτές τις αναλύσεις⁵ [Burkle-Elizondo G. et al, 2007, p.119].

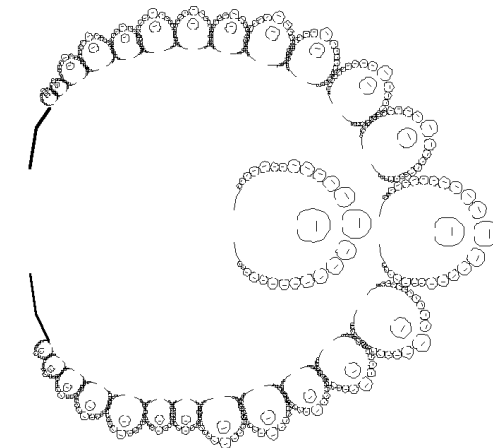
Μπορούμε ίσως να διακρίνουμε τις ρίζες της ιδέας των fractals στις προσπάθειες για μέτρηση αντικειμένων, στα οποία οι παραδοσιακές αρχές και ορισμοί, βασισμένοι στην Ευκλείδεια γεωμετρία και στο calculus, αποτυγχάνουν. Όπως είδαμε δηλαδή, στην μέθοδο μέτρησης και ανάλυσης των αρχαιοτήτων παραπάνω ή σε θέματα μέτρησης ακτογραμμών κτλ.

Fractals βρίσκονται σε διάφορους παλιούς πολιτισμούς όπως στην αφρικανική «πρωτόγονη» αρχιτεκτονική. Ο Ron Eglash στο βιβλίο του «African fractals» αναλύει τέτοιες περιπτώσεις fractal σχηματισμών κυρίως σε πολεοδομικό επίπεδο οικισμών. Βλέπουμε το παράδειγμα του οικισμού Ba-ila στην Νότια Ζάμπια όπου η οργάνωση είναι ένα fractal, ίσως για οικονομία χώρου και προστασία. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει ότι οι ιεραρχίες στην κλίμακα που διατρέχουν όλο τον οικισμό αποτελούν αντανάκλαση της κοινωνικής ιεραρχίας της κοινότητας. [Joye Y., 2007]

Στην Ευρώπη βλέπουμε παραδείγματα από την μοντέρνα και μεταμοντέρνα αρχιτεκτονική μέχρι σε σχέδια του da Vinci. Ακόμη, η χρήση τους μπορεί να αντανάκλα κοινωνικές, θρησκευτικές ή πολιτικές ιεραρχίες (όπως ίσως στους Ινδουιστικούς ναούς). Παραδείγματα fractals αποτελούν και τα διάσημα κυβικά «αρχιτεκτονήματα» του Kasimir Malevich όπου υπάρχει πολλαπλότητα στην κλίμακα και επανεμφάνιση του



Εικόνα 54: A classical Doric entablature (left) has a remarkable similarity with the Devil's Staircase¹ (right).

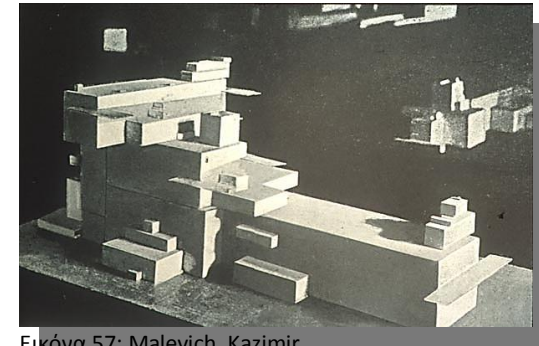


Εικόνα 55: Ba-ila village, from African Fractals, Ron Eglash

⁵ Στην Μεσοαμερικανική αρχιτεκτονική και τέχνη βρέθηκε ψηλή fractal διάσταση. Συγκεκριμένα, τα έργα αυτά χαρακτηρίζονται από διάσταση "box fractal" $D_b = 1.912 \pm 0.009$ και/ή από διάσταση "fractal information" $D_i = 1.916 \pm 0.002$ [Burkle-Elizondo G. et al, 2007, p.127]

ίδιου θέματος. Πολλοί καθεδρικοί ναοί και γενικότερα κτήρια γοθτικού ρυθμού παρουσιάζουν fractal ιδιότητες όταν δούμε τις πτυχώσεις στην μικρή κλίμακα σε σχέση με την συνολική δομή. Fractal κλιμάκωση βλέπουμε στο μπαρόκ κτήριο της Όπερας του Παρισιού, σχεδιασμένο από τον Charles Garnier (1825-1898) και χτισμένη από το 1861 έως το 1875. Το κτήριο αποτελείται από ένα συνδυασμό ρυθμών συνθέτοντας μια βαθύτερη αρμονία. Περιπατώντας την Rue de l'Opera αποκαλύπτονται όλο και περισσότερες λεπτομέρειες του κτηρίου και όσο πλησιάζει κανείς κοντύτερα εστιάζει σε επόμενες λεπτομέρειες, οι οποίες είναι «αυτο-όμοιες» (self-similar) με την προηγούμενη κλίμακα [Abrams I., 2008]. Όπως είχε πει και ο ίδιος ο Mandelbrot, περπατώντας προς την όπερα Garnier του Παρισιού, από μακριά το πιο ευδιάκριτο και σημαντικό στο μάτι είναι η οροφή. Όσο πλησιάζουμε πιο κοντά εμφανίζονται άλλα πράγματα τα οποία όμως, κατά τον Mandelbrot, εμφανίζουν πάντα προσεγγιστικά τον ίδιο βαθμό πολυπλοκότητας. Αυτή η ιδιότητα εμφανίζεται σε πολλά κτήρια (μπαρόκ και γοθικά κυρίως) τα οποία έχουν έντονα μοτίβα και διάκοσμο γιατί υπάρχει σε αυτά συνήθως πολλαπλότητα στην κλίμακα του κτηρίου. Έτσι, ισχύει η ιδιότητα των «fractal» έστω και με την πιο «χαλαρή» έννοια.

Ο Wright χρησιμοποιούσε συχνά οργανωτικά θέματα στα κτήρια του, τα «modules» αυτά παραμένουν στην Ευκλείδεια γεωμετρία, αλλά στα μετέπειτα έργα του τα στοιχεία αυτά είναι τόσο οργανωμένα που δίνουν στο κτήριο πρωτοφανή fractal οργάνωση. Στο Palmer House, το οποίο αποτελεί το σημείο κατάληξης αυτής της εξελικτικής πορείας στην οργάνωση του Wright, το γεωμετρικό «module» είναι ένα ισόπλευρο τρίγωνο το οποίο επαναλαμβάνεται στην κάτοψη σε επτά διαφορετικές κλίμακες. Το Δημαρχείο της κομητείας Marin (San Francisco), κτήριο του Wright επίσης, εμφανίζει fractal φύση στις



Εικόνα 57: Malevich, Kazimir.
Suprematist architecture, 1923.



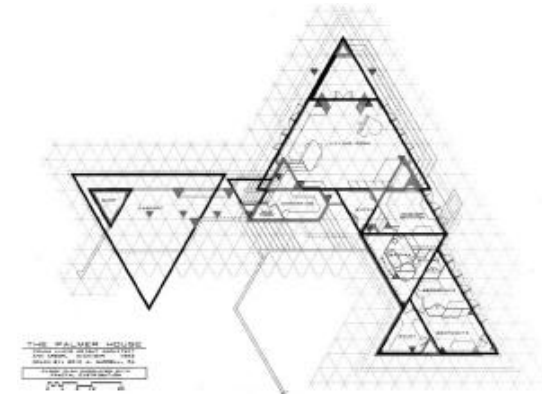
Εικόνα 56: Όπερα του Παρισιού,
σχεδιασμένη από τον Charles Garnier (1825-
1898) και χτισμένη από το 1861 έως το 1875

όψεις του. «Πάνω από κάθε αψίδα τοποθετείται ένα παράθυρο ή μια άλλη αψίδα, η οποία είναι κάπως μικρότερη από την προηγούμενη. Αυτό δίνει στην κατασκευή αυτο-ομοιότητα μέχρι και σε πέντε κλίμακες.» [Joye Y., 2007]

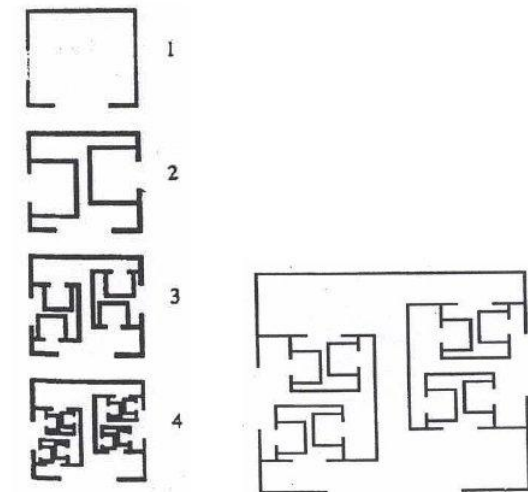
Fractal χρησιμοποιούνται στα γραφικά και στα «special effects» ταινιών. Για παράδειγμα, στις ταινίες Star Wars οι εικόνες εξωγήινων τοπίων φτιάχτηκαν στον υπολογιστή χρησιμοποιώντας fractals. Τα παραδείγματα σε τοπία ταινιών και γενικότερα σε γραφικά, είτε στην αρχιτεκτονική είτε οπουδήποτε, είναι αναρίθμητα. Στην αρχιτεκτονική βλέπουμε την χρήση των fractal σε κατόψεις κυρίως, είτε σε κτήρια με πολύ διάκοσμο και πτυχώσεις, που φαίνεται στο σύνολό τους (παράδειγμα της όπερας στο Παρίσι ή γοθτικοί ναοί). Η γεωμετρία αυτή ίσως χρησιμοποιείται σε αρκετές κατόψεις για να δημιουργήσει έναν σχεδιαστικό κανόνα, ένα μοτίβο χώρων και υποχώρων, εκμεταλλεύοντας έτσι την πολλαπλότητα της κλίμακας που προσφέρουν τα fractals.

Στα δυτικά του Καμερούν απλώνεται η καταπράσινη περιοχή Bamileke. Ο Eglash περιγράφει την αρχιτεκτονική των οικισμών τους ως εξής:

«Τα σπίτια αυτά και τα κολλημένα περιβλήματά τους είναι φτιαγμένα από μπαμπού-Μοτίβα γεωργικής καλλιέργειας και έχουν τη βάση τους στην κλιμάκωση. Μιας και το ίδιο υλικό μπαμπού χρησιμοποιείται για την κατασκευή των σπιτιών, των περιφράξεων των σπιτιών και των περιφράξεων των περιφράξεων, το αποτέλεσμα είναι μια αρχιτεκτονική που παρουσιάζει αυτο-ομοιότητες. Η κτηνοτροφικές και γεωργικές δραστηριότητες απαιτούν πολύ κίνηση ανάμεσα σε αυτά τα όρια και περιφράγματα, οπότε σε όλες τις κλίμακες βλέπουμε ικανοποιητικού μεγέθους ανοίγματα.» [Karptraff J. 2007, p.18]



Εικόνα 59: Ground plan of Wright's Palmer House.



Εικόνα 58 a) Fractal αναπαράσταση αρχιτεκτονικής Bamileke b) Μεγενθυμμένη εικόνα της τέταρτης επανάληψης. Ron Eglash

Ακόμη, βλέπουμε την παρουσία τους σε πάρα πολλά μοτίβα και διακοσμητικά στοιχεία κτηρίων.

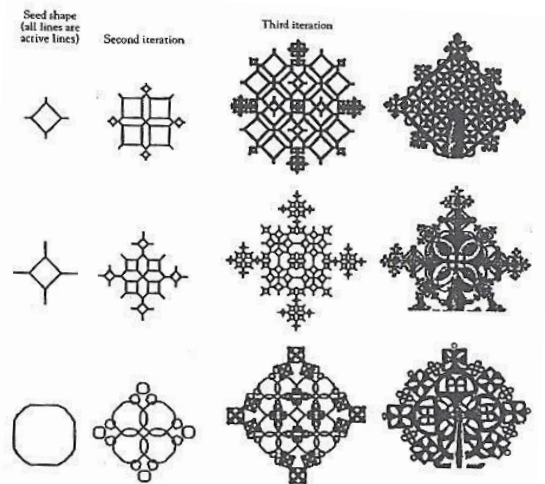
Σύμφωνα με τον Salingaro (και άλλους ερευνητές που έχουν ασχοληθεί με το θέμα), στην αρχιτεκτονική και κεραμική (Iznik) του Ισλάμ τα παραδείγματα είναι πολυάριθμα. Ο ίδιος εξυμνεί την χρήση τους, καθώς και τον γενικότερο διάκοσμο, μιας και δημιουργούν πολλαπλές κλίμακες, κάτι υγιές και θεμητό κατά τον ίδιο. Η κριτική του στην αρχιτεκτονική του μοντέρνου, του μεταμοντέρνου και της αποδόμησης είναι απόλυτη και στηρίζεται στα στοιχεία τα οποία καταργούν αυτά τα ρεύματα. Στοιχεία όπως ιεραρχία κλίμακας, διάκοσμος ο οποίος έχει βαθιές ρίζες με τον ανθρώπινο πολιτισμό και έχει τις λειτουργίες του, αυτο-ομοιότητα και συμμετρία.



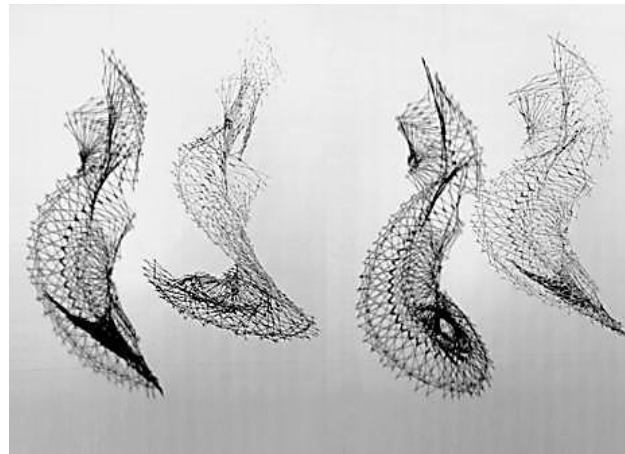
Εικόνα 60: Sierpinski Gasket Tiling



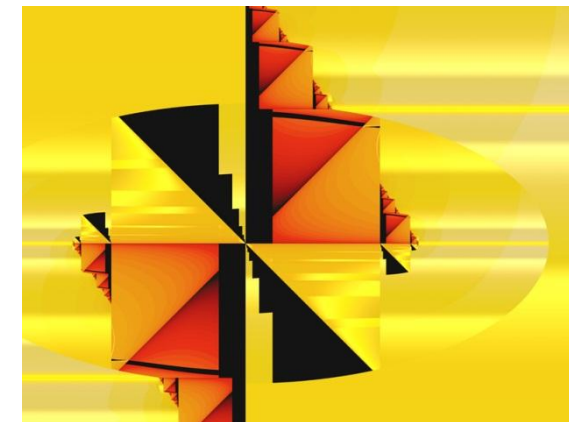
Εικόνα 61: Dali painting, fractal analysis



Εικόνα 63: Σταυροί από την Αιθιοπία, fractal επαναλήψεις

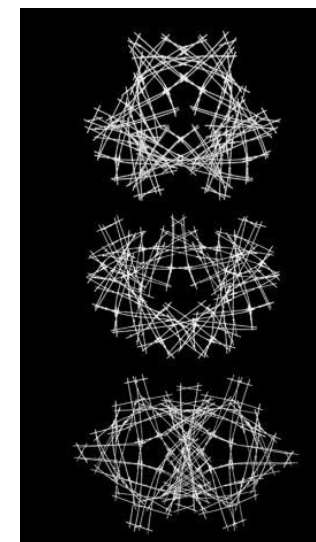


Εικόνα 62: Crossings Workshop, Suspended Animation Series, Cellular Form Studies and Shadow "drawings" by Diana Park

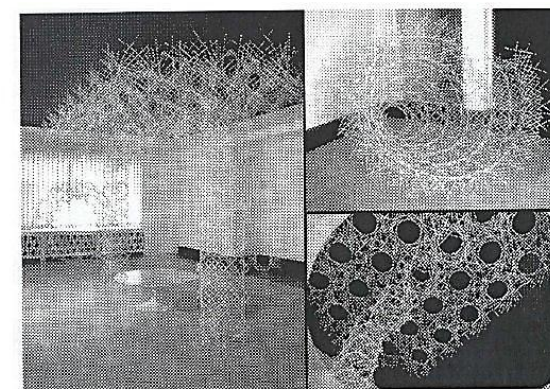


Εικόνα 64: Modrian, "fractal painting"

Ο Salingeros πιστεύει ότι η αρχιτεκτονική έχει πολλά να κερδίσει από την βιολογία καθώς μέσα από αυτήν προκύπτει μια βαθύτερη κατανόηση των βιολογικών διαδικασιών και δομών. Αυτές οι διαδικασίες και οι δομές αντιγράφονται και μεταφράζονται στην αρχιτεκτονική. Η έννοια αυτή είναι γνωστή ως Βιομιμητική (μίμηση της ζωής) και δεν έχει να κάνει μόνο με την μορφολογική μίμηση των μορφών της ζωής. Έχει να κάνει με την μελέτη της λειτουργίας των ζωντανών οργανισμών, το πώς και γιατί αναπτύσσονται και σε τί συνθήκες. Είναι γνωστό ότι η αρχιτεκτονική εμπνέεται από την φύση, όχι μόνο μορφολογικά αλλά και «βιομιμητικά». Ο όρος της βιομιμητικής μπορούμε να πούμε ότι είναι κατά κάποιον τρόπο η συνειδητοποίησή μας ότι στις δομές της φύσης κρύβονται πολλά συστήματα και «σοφία» η οποία είναι απόρροια του συστήματος εξέλιξης της ζωής, της προσαρμοστικότητας και της αυτο-οργάνωσής της. Αυτή τη γνώση μέσω της μελέτης και αποκωδικοποίησης των διαδικασιών της φύσης εκμεταλλεύονται οι αρχιτέκτονες. Είτε πρόκειται για δανεισμό αναλογιών (χρυσές τομές, σειρές Fibonacci) από τη φύση είτε από τον τρόπο ανάπτυξης φυτών και ζώων ή από τα fractals, η ουσία είναι η ίδια. Όπως υποστηρίζει ο Salingeros, τα κτήρια και οι πόλεις οργανώνονται από τους ίδιους νόμους με τους βιολογικούς οργανισμούς. Όπως αναφέρει, πολλά από τα σπουδαία κτήρια του παρελθόντος παρουσιάζουν μαθηματικές ομοιότητες. Επίσης, ότι με τις fractal μορφές έχουμε μια οικολογική προσέγγιση στον σχεδιασμό και στην δόμηση. Αυτό μιας και οι fractal δομές υπάρχουν στη φύση οπότε ο οικολογικός σχεδιασμός είναι από μια άποψη έμφυτος. Τα fractal στη φύση έχουν την τάση για βελτιστοποίηση της δομής τους και υπακούουν συνήθως σε αρχές λειτουργικότητας.



Εικόνα 66: Manuel A. Baez, Suspended Animation Series, 1994-, square cellular units



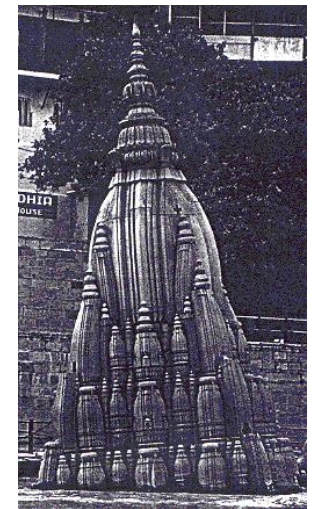
Εικόνα 65: *phenomenological Garden*, Installation at the Network Gallery of Cranbrook Academy of Art, Michigan 1999. Sculptural weavings

[Towards a biological understanding of architecture and urbanism: lessons from Steven
Pinker Salingeros]

2.2 ΔΟΜΕΣ FRACTAL: πέρα από τη μορφή στην Αρχιτεκτονική

Υπάρχει άραγε fractal αρχιτεκτονική; Είδαμε πολλά παραδείγματα χρήσης της fractal γεωμετρίας είτε ως συνθετικό εργαλείο είτε ως εργαλείο ανάλυσης. Μπορούμε να βρούμε σε κάποια αρχιτεκτονική άραγε όλα τα στοιχεία που ίσως χρειάζονται ώστε να την αποκαλέσουμε fractal αρχιτεκτονική; Ίσως το πλησιέστερο παράδειγμα προς αυτή την κατεύθυνση είναι η αρχιτεκτονική των Ινδουιστικών ναών. Στην Ινδία και γενικότερα στην Νοτιοανατολική Ασία, ναοί και μνημεία αποτελούν fractal κατασκευές, στις οποίες ο κάθε πύργος περιτριγυρίζεται από μικρότερους πύργους, οι οποίοι στη συνέχεια από μικρότερους κοκ. Υπάρχει και η άποψη, όπως εκφράζεται από τον William Jackson, ότι και η ίδια η θρησκευτική οπτική του Ινδουισμού έχει fractal χαρακτήρα και ίσως η Ινδουιστική αρχιτεκτονική αντανακλά αυτή την fractal φύση της Ινδουιστικής κοσμολογίας. Όπως λέει για τον fractal χαρακτήρα της Ινδουιστικής αρχιτεκτονικής:

«Αυτό το σύμπαν είναι σαν ώριμο φρούτο που εμφανίζεται από τη δραστηριότητα της cit (συνείδηση). Υπάρχει ένα κλαδί ενός δέντρου που φέρει αναρίθμητους καρπούς αυτού του είδους. Υπάρχει



Εικόνα 67: Ινδουιστικός ναός, Fractal κλιμάκωση

ένα δέντρο που έχει χιλιάδες τέτοια κλαδιά. Υπάρχει ένα δάσος με χιλιάδες τέτοια δέντρα. Υπάρχει μια ορεινή περιοχή με χιλιάδες τέτοια δάση. Υπάρχει μια περιοχή που περιέχει χιλιάδες τέτοιες περιοχές. Υπάρχει ένα ηλιακό σύστημα που περιέχει χιλιάδες τέτοιες περιοχές. Υπάρχει ένα σύμπαν που περιέχει χιλιάδες τέτοια ηλιακά συστήματα. Και υπάρχουν πολλά τέτοια σύμπαντα που περιέχονται σε αυτό σαν ένα άτομο μέσα σε ένα άτομο. Αυτό είναι γνωστό ως *cit* ή ως ο λεπτός ήλιος που φωτίζει τα πάντα στον κόσμο. Όλα τα πράγματα του κόσμου να δημιουργούνται μέσα του. Εν μέσω όλης αυτής της αδιάκοπης δραστηριότητας, το *cit* βρίσκεται πάντα ανενόχλητο σε ανάπαυση.»

[Jackson W., <http://classes.yale.edu/fractals/panorama/Architecture/IndianArch/IndianArch.html>]



Εικόνα 68: Fractal generation of central dome of a Hindu Temple

Βλέπουμε ότι υπάρχει ίσως σύνδεση της αρχιτεκτονικής των Ινδουιστικών ναών με την Ινδουιστική κοσμολογία, η οποία παρουσιάζει fractal οργάνωση. Στην Ινδουϊστική φιλοσοφία ο κόσμος ορίζεται περίπου σαν ένα ολόγραμμα όπου το κάθε κομμάτι του όλου είναι και όλο από μόνο του και περιέχει πληροφορίες για το όλο. Σε κάποια ρεύματα Ινδουϊστικής σκέψης αναφέρεται ξεκάθαρα ότι ο μακρόκοσμος είναι κλεισμένος κι αυτός στον μικρόκοσμο [Joye Y., 2007]. Έτσι, οι κοσμολογικές θεωρήσεις, οι οποίες παρουσιάζουν fractal αυτο-ομοιότητα, έρχονται να χτίσουν τους ναούς που βλέπουμε, οι οποίοι στην μορφή είναι τρισδιάστατα fractal, αλλά και στην ιδέα τους (σε αυτά που πραγματεύονται). Οι ναοί αυτοί παρουσιάζουν fractal χαρακτήρα στο οριζόντιο και κάθετο επίπεδο, εμφανίζουν ξεκάθαρα την πολλαπλότητα κλίμακας και την αυτο-ομοιότητα και ίσως θα μπορούσαμε να πούμε ότι αποτελούν παράδειγμα fractal αρχιτεκτονικής.

Ενδιαφέρον ίσως παρουσιάζει μια έρευνα πάνω στον αντίκτυπο που προκαλούν τα fractal στον άνθρωπο και ο συσχετισμός τους με βιολογικά χαρακτηριστικά του ανθρώπου. Τα περιβάλλοντα που περιέχουν fractal οργάνωση και γεωμετρία ασκούσαν ανέκαθεν μια γοητεία στον άνθρωπο, αρκεί να σκεφτούμε τα βουνά, τα δάση, ζωγραφικούς πίνακες, μουσική, αρχιτεκτονική (τα παραδείγματα που είδαμε). Όπως αναφέρει ο Yannick Joye στο άρθρο του, υπάρχει λόγος που είμαστε κατά μια έννοια «εναρμονισμένοι» στα fractal και στην fractal αρχιτεκτονική. Έχει βρεθεί ότι το ανθρώπινο νευρικό σύστημα διέπεται από «time fractals».

«Πιο συγκεκριμένα, οι αναλύσεις της λειτουργίας του εγκεφάλου δείχνει ότι παρουσιάζει τυπικά σήματα θορύβου, που συνήθως αναφέρονται ως "1 /f θόρυβος" ή "ροζ" θόρυβος. Ο fractal χαρακτήρας

των εν λόγω θορύβων μπορεί εύκολα να εκτιμηθεί, γιατί όπως και στα χωρικά fractal, δείχνει αυτο-όμοια λεπτομέρεια όταν μεγεθύνουμε σε αυτό. Αλλά ποια είναι η λειτουργία αυτών των fractal του χρόνου; Μια κοινή απάντηση είναι ότι ο φυσικός κόσμος - και ο τρόπος που αλλάζει με το χρόνο – χαρακτηρίζεται επίσης από ροζ θόρυβο, κάτι που δείχνει ότι το fractal μυαλό μας βελτιστοποιείται στην επεξεργασία των fractal χαρακτηριστικών του φυσικού περιβάλλοντος ... Η υπόθεση αυτή ενισχύεται από τη διαπίστωση ότι οι διακρίσεις στις fractal καμπύλες είναι καλύτερη για εκείνες που έχουν τις ίδιες (fractal) ιδιότητες με το φυσικό περιβάλλον ... Είναι ενδιαφέρον ότι, αυτά τα ευρήματα μπορεί (υποθετικά) να εξηγήσουν τη δημιουργία των fractal έργων τέχνης και fractal αρχιτεκτονικής ειδικότερα. Οι εν λόγω τέχνες θα πρέπει να εκλαμβάνονται ως εξωτερικεύσεις των fractal πτυχών της λειτουργίας του εγκεφάλου» [Joye Y., 2007]

‘Η όπως λέει ο Goldberger [1996]: «... αυτά τα έργα τέχνης εξωτερικεύουν και χαρτογραφούν την εσωτερική λειτουργία του εγκεφάλου ... Αντίστροφα, η αλληλεπίδραση του θεατή με το έργο μπορεί να εκληφθεί ως πράξη αυτο-αναγνώρισης» Goldberger από [Joye Y., 2007].

Βέβαια, αυτή η εξήγηση δεν είναι αρκετή, καθώς δεν μας εξηγεί γιατί βρίσκουμε «όμορφες» τις fractal δομές. Αυτό δεν εξηγήθηκε ούτε με την περιγραφή του αντιληπτικού μας συστήματος με τα «time fractals». Για περαιτέρω ανάλυση και διερεύνηση ο Yannick Joye δανείζεται στοιχεία από το πεδίο της περιβαλλοντικής ψυχολογίας. Όπως λέει, στην λογοτεχνία και την τέχνη, φαίνεται η θετική συναισθηματική ανταπόκριση του ανθρώπου προς κάποια φυσικά στοιχεία και περιβάλλοντα όπως η βλάστηση (δέντρα, φυτά και λουλούδια) και οι σαβάννες. Ερευνητές έχουν βρει ότι τα συγκεκριμένα στοιχεία οδηγούν σε θετικές αισθητικές αποκρίσεις (aesthetic responses) και ακόμη ότι μειώνουν το ψυχολογικό και



Εικόνα 69: Fractal Fern

«φυσιολογικό» άγχος στους ανθρώπους [Joye Y., 2007]. Όπως αναφέρει, αυτές οι συναισθηματικές ανταποκρίσεις είναι βαθειά συνδεδεμένες στον ανθρώπινο εγκέφαλο και πλαισιώνονται κάποιες φορές από τον όρο «βιοφιλία» (κυριολεκτικά, αγάπη για τη ζωή). Αποτελούν απομεινάρια της κοινής ανθρώπινης εξέλιξής μας στις σαβάννες της Ανατολικής Αφρικής. Έτσι, πιστεύεται ότι αυτές οι «βιοφιλικές» ανταποκρίσεις αναπτύχθηκαν καθαρά για λόγους επιβίωσης. Για παράδειγμα, οποιοδήποτε σχεδόν στοιχείο βλάστησης σήμαινε αυτόματα πηγή τροφής, κάλυψης και προστασίας. Οι σαβάννες αντίστοιχα είναι υψηλού επιπέδου περιβάλλον για ζωή. Οι άνθρωποι νιώθουν περισσότερο ήρεμοι και ήσυχοι σε μέρη που ενδείκνυνται για κατοίκηση (όπως για παράδειγμα μέρη με βλάστηση κτλ). Υπάρχει πλέον λόγος, σύμφωνα με τον Joye, να πιστεύουμε ότι η fractal γεωμετρία αποτελεί τη βάση αυτών των βιοφιλικών αντιδράσεων-αποκρίσεων. Δεν είναι το δέντρο που μας προκαλεί τις συναισθηματικές αποκρίσεις, αλλά τα fractal μαθηματικά του δέντρου, όπως μας λέει. Πάνω σε αυτό έχει γίνει έρευνα από την Caroline Hagerhall και τους συνεργάτες της, οι οποίοι βρήκαν ότι οι συναισθηματικές καταστάσεις ως προς τα φυσικά τοπία (με βλάστηση) μπορεί να προβλεφθούν με τυπικά fractal χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα με την fractal διάσταση. Οι μελέτες έδειξαν ότι η ανταπόκριση κορυφώνεται όταν *«τα φυσικά τοπία, ή τα fractal μοτίβα πίσω από αυτά, έχουν μια ενδιάμεση fractal διάσταση (γύρω στο 1.3-1.5, όπως στις σαβάννες) ... Σημαντικό είναι ότι εικόνες σε τέτοια εμβέλεια fractal διάστασης μειώνουν το άγχος στους ανθρώπους ... Εικάζεται ότι είναι η πρωτόγονη λειτουργία του εγκεφάλου που συνεχώς κρίνει (υποσυνείδητα) τα τοπία ως προς την κατοικησιμότητά τους, προτιμώντας έτσι μέρη με μεσαία πολυπλοκότητα (ή fractal διάσταση) ... Περιβάλλοντα με ψηλή fractal διάσταση θα μπορούσαν να περιέχουν κρυμμένους κινδύνους, όπως*

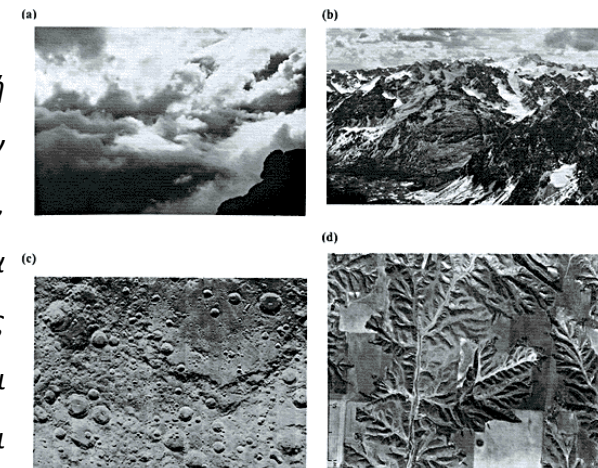
θηρευτές σε ενέδρα, ενώ όσα έχουν χαμηλή διάσταση μάλλον δεν περιέχουν αρκετά στοιχεία είτε για προστασία είτε για πηγή τροφής.» [Joye Y., 2007]

Όπως δείχνουν τα παραπάνω επιχειρήματα, ο εγκέφαλός μας προτιμάει τις fractal δομές και νιώθει πιο άνετα γύρω τους κάτι που προκύπτει από την εξέλιξη (που αναφέρθηκε παραπάνω). Fractal γεωμετρίες όμως αντιγράφονται (είτε από τη φύση, είτε υποσυνείδητα από την δική μας «φύση», δηλαδή τον εγκέφαλο και τα αρχέγονα χαρακτηριστικά που κουβαλάμε) στην αρχιτεκτονική (όπως είδαμε) όπου δημιουργούνται τοπία με fractal ιδιότητες όπως τα φυσικά. Μπορεί κανείς ίσως να δει τα κοινά χαρακτηριστικά με την προσέγγιση του C.Yung ως προς το φιλτράρισμα των εμπειριών μέσω αρχετύπων που έχουμε ως ένα βαθμό όλοι μέσα μας. Όπως αναφέρει ο Yannick Joye:

«Ένας από τους λόγους για τους οποίους μας αρέσουν τα fractal στην Γοτθική και Ινδουιστική αρχιτεκτονική είναι ότι μας θυμίζει τα αρχαία, φυσικά τοπία κατοικίας μας. Επειδή οι εγκέφαλοί μας δεν έχουν ουσιαστικά αλλάξει από την προϊστορία, οι βιοφιλικές μας αντιδράσεις δουλεύουν ακόμη. Ωστόσο, στον σύγχρονο κόσμο, οι fractal μορφές (π.χ. δέντρα) που ποθούμε συνεχώς απομακρύνονται από τα περιβάλλοντα που ζούμε και συχνά αντικαθίστανται από απλές ευκλείδειες μορφές. Ορισμένοι μελετητές υποστηρίζουν ότι η τάση αυτή μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη απελευθέρωση στρεσογόνων ορμονών, οι οποίες μακροπρόθεσμα, μπορεί να έχουν καταστροφικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ... Άλλοι πάλι πιστεύουν ότι αυτό το γεγονός θα μπορούσε να είναι ένα από τα βαθύτερα αίτια ψυχοπαθολογικών καταστάσεων στις δυτικοποιημένες κοινωνίες.» [Joye Y., 2007] Ο εγκέφαλός μας έχει μαθηματικές προτιμήσεις αλλά αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι τα «Ευκλείδεια κτήρια» προκαλούν απαραίτητα ζημιά.

DECISIONS ARE FRACTAL DECISIONS WITHIN DECISIONS WITHIN DECISIONS WITHIN DECISIONS WITHIN DECISIONS WITHIN DECISIONS WITHIN DECISIONS WITHIN DECISIONS WITHIN DECISIONS WITHIN DECISIONS WITHIN DECISIONS

Εικόνα 71



Εικόνα 70: Photographs of natural features that have given rise to fractal patterns. (a) Clouds (photo: Nolan Doesken). (b) Earth surface topography (photo: Bob Broshears). (c) Asteroid impact craters, here on the Moon (photo: NASA/ USGS, Lunar Orbit er I, 38M). (d, aerial photography, mountains

Είδαμε για ακόμη μια φορά ότι τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά όσο φαίνονται, αλλά κρύβουν πίσω τους πολλά συστήματα, νόμους και πολυπλοκότητα η οποία σχετίζεται με την λειτουργία της ζωής και του κόσμου γύρω μας. Θα μπορούσαν άραγε να σχεδιάζονται εσκεμμένα, κτήρια με αυτό το ιδανικό ενδιάμεσο επίπεδο πολυπλοκότητας και fractal οργάνωσης που προτιμάει βιολογικά ο οργανισμός μας;



Εικόνα 73: Gothic architecture (City Hall, Bruges). The arched form reoccurs throughout the building



Εικόνα 73: Notre Dame Cathedral, Paris

3. Χάος και Πολυπλοκότητα (και) στην αρχιτεκτονική

3.1 Χάος και πολυπλοκότητα: βασικές έννοιες και ορισμοί

3.1.1 Εισαγωγή: Από τα fractal στο Χάος

Σύμφωνα με τον Salingero γίνεται κατάχρηση του όρου fractal, ειδικά όταν αναφέρεται σε κτήρια και αρχιτεκτονική. Ο Jencks αναφερόμενος στο Μουσείο Guggenheim του Gehry στο Bilbao, μιλάει για τα εικοσιέξι αυτο-όμοια σχήματα λουλουδιών στο κτήριο αυτό. Ο Salingeros ασκεί έντονη κριτική σε αυτό μιας και, όπως λέει, δεν έχει καμία σχέση το οποιοδήποτε λουλούδι με τις καμπύλες στο κτήριο αυτό. Καταλήγοντας, τονίζει την τεράστια διαφορά ανάμεσα σε μια απλή εικονική και σε μια λειτουργική εκτίμηση και κατανόηση των fractal.

Υπάρχει μεγάλη σχέση ανάμεσα στα fractal και στο χάος και η μελέτη των fractals ξεκίνησε εν μέρει από την έρευνα του Benoit Mandelbrot πάνω στις διακυμάνσεις του χρηματιστηρίου (γνωρίζουμε πια ότι αυτά τα οικονομικά συστήματα λειτουργούν χαοτικά). Από το πρόβλημα της μέτρησης μεγεθών, όπως των ακτογραμμών του Lewis Richardson, μέχρι την μουσική, βλέπουμε την fractal φύση [Kappraff J. 2007]. Σε όλες τις τέχνες σχεδόν βρίσκουμε fractal δομές οι οποίες μας εισάγουν στην πολυπλοκότητα και το χάος.

Το χάος φτιάχνεται από fractal και όπως έχει πει και ο Mandelbrot, τα fractal δείχνουν την αφηρημένη γεωμετρική φύση του χάους. Πολλά φυσικά χαοτικά συστήματα σχηματίζουν fractals στα μοτίβα που καταγράφουν τις διαδικασίες τους [www.cpedia.com]. Η φύση δημιουργεί fractal με στατιστική αυτο-ομοιότητα και είναι η πηγή της ολότητας και της ομορφιάς στα χαοτικά συστήματα που ονομάζουμε «ζωή», συμπεριλαμβάνοντας και τις πόλεις. Από το διάσημο βιβλίο του Cook, «The Curves of Nature» και το «On Growth and Form» του D'Arcy Thompson και τις έννοιες που περιείχαν, προχωράει η επιστήμη σε άλλα πεδία όπως την θεωρία των καταστροφών, την πολυπλοκότητα, το φαινόμενο Lorenz (φαινόμενο της πεταλούδας, ουσιαστικά δηλαδή το χάος) και τα μη γραμμικά δυναμικά συστήματα. Αυτές οι θεωρίες με τη σειρά τους ανατροφοδοτούν με έννοιες τα συστήματα που αγγίζουν, άραγε και την αρχιτεκτονική;

3.1.2 Η έννοια του Χάους και της Πολυπλοκότητας στη Φυσική

Πολύ πριν τους διάσημους φυσικούς του αιώνα που μας πέρασε, όπως για παράδειγμα τον Einstein και τον Hawking, άλλοι προγενέστεροι είχαν αποκαλέσει την δυναμική (dynamics) ως τετραδιάστατη γεωμετρία. Συγκεκριμένα, ο Lagrange πάνω από εκατό χρόνια πριν τον Einstein και τον Minkowski, προχώρησε σε τέτοιου είδους θεωρήσεις. Η ουσία αυτής της θεώρησης είναι ότι παρελθόν και παρόν παίζουν περίπου τον ίδιο ρόλο και ο κόσμος κατά τον Prigogine παύει πια να είναι στατικός. Έτσι, η δυναμική θεώρηση των πραγμάτων κυριαρχεί σε όλα τα πεδία των επιστημών και η έννοια της εξέλιξης είναι κεντρική για την κατανόηση του φυσικού μας περιβάλλοντος κόσμου. Αυτό ξεκίνησε τον 19^ο αιώνα και αργότερα παρατηρήθηκε σχεδόν ταυτόχρονα στη φυσική, τη βιολογία και τις κοινωνικές επιστήμες. Στην φυσική, το καινούργιο για τότε πεδίο της δυναμικής εκφράστηκε κυρίως μέσω του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής, ο «δημοφιλής» νόμος της αυξανόμενης εντροπίας. [Prigogine I., 1980]

Γνωρίζουμε πλέον ότι τα στοιχειώδη σωματίδια είναι πολύπλοκα αντικείμενα τα οποία μπορούν να παραχθούν και να αποσυντεθούν. Στην φυσική, σε πειράματα με λίγα στοιχεία σωματίδια είναι δυνατόν να παρατηρηθούν και να προβλεφθούν πολλά δεδομένα, αλλά όταν αυξάνεται ο αριθμός των στοιχείων και γίνεται η αναγωγή στην μακροκλίμακα χάνεται η απλότητα και πολλές φορές η προβλεψιμότητα.

Ψάχνοντας κανείς τα είδη των διαδικασιών (processes) βρίσκει ότι υπάρχουν, στις επιστήμες πάντα, οι αναστρέψιμες και οι μη αναστρέψιμες διαδικασίες. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι οι μη αναστρέψιμες διαδικασίες, για παράδειγμα κάποιες χημικές αντιδράσεις ή οι αλληλεπιδράσεις σωματιδίων και δυνάμεων, έχουν τον βασικό δομικό ρόλο στον φυσικό κόσμο. Αποτελούν την βάση για εν συνεχεία σημαντικές ενωτικές συνθετικές διαδικασίες οι οποίες στηρίζουν την ζωή και την δομή της ύλης στο σύμπαν γενικότερα. Η τάξη που συναντάται μέσα στο χάος αποτελεί επίσης βασικό στοιχείο για την ύπαρξη και την διαιώνισή μας. Αυτές οι θεωρήσεις συναντώνται σε όλες τις θετικές και όχι μόνο, επιστήμες σε παρόμοιες εποχές.

Οι ορισμοί της θεωρίας της πολυπλοκότητας και του χάους είναι πολλοί και ποικίλοι. Οι δύο αυτές θεωρίες παρόλο που φαίνονται ξεχωριστές σχετίζονται άμεσα. Ερευνώντας κανείς τη σχέση των δύο θεωριών, βρίσκει ότι η θεωρία του χάους είναι στην ουσία τμήμα, υποσύνολο της πολυπλοκότητας και ότι η πολυπλοκότητα είναι λιγότερο ορισμένη και σαφής. Η πολυπλοκότητα ορίζεται και προκύπτει από τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, ο οποίος λέει ότι σε ένα σύστημα με το πέρασμα του χρόνου η εντροπία μπορεί μόνο να αυξηθεί. Η εντροπία είναι ουσιαστικά το μέτρο αταξίας ενός συστήματος. Όσο αυξάνει η εντροπία σε ένα σύστημα αυξάνει και η αταξία του και οι βαθμοί ελευθερίας του [Prigogine I., 1980]. Αυτό ισχύει για όλα τα συστήματα, η τάση τους είναι δηλαδή (όσο περνάει ο χρόνος) προς μεγαλύτερη αταξία και για να μην γίνει αυτό χρειάζεται έργο, ενέργεια. Για παράδειγμα, ένας λόχος με στρατιώτες οι οποίοι είναι στοιχισμένοι και έχουν συντονισμένο βηματισμό, έχει λιγότερη εντροπία από όταν είναι σε άδεια και έχουν διασκορπιστεί στην πόλη. Για να επανέλθει η τάξη πρέπει να καταβληθεί

έργο, να καταναλωθεί ενέργεια, για παράδειγμα να τους φωνάξει ο υπεύθυνός τους ή να τους καλέσει πίσω.

- Τα πολύπλοκα συστήματα επιδεικνύουν μια ιδιότητα την οποία οι μαθηματικοί αποκαλούν ελκυστές (attractors). Οι ελκυστές αναπαριστούν τις καταστάσεις στις οποίες το σύστημα τελικά κατασταλάζει. Είναι δηλαδή οι καταστάσεις στις οποίες έλκεται το σύστημα για να φτάσει στην ισορροπία του [Abrams I., 2008]. Η ομάδα από ελκυστές, οι οποίοι είναι πέρα από τους συνηθισμένους, λέγονται και «χαοτικοί» ή «παράξενοι ελκυστές». Ο όρος «παράξενος ελκυστής» πρωτοαναφέρθηκε από τον David Ruelle στα 1970s, όταν παρουσίασε τις αναταράξεις των ρευστών ως παράδειγμα χάους [Ruelle, Chance and Chaos]. Οι συγκεκριμένοι είναι κατά βάση «fractal» αντικείμενα. Ο πιο γνωστός παράξενος ελκυστής πήρε το όνομα του από τον Lorenz που τον ανακάλυψε. Όπως αναφέραμε, τα βιβλία του Benoit Mandelbrot έπαιξαν βασικό ρόλο στην εμφάνιση της θεωρίας του Χάους και ο David Ruelle ήταν από τους πρώτους που ανέφεραν τον όρο «Χάος». Η εργασία του στην «αναταραχή στα ρευστά», (fluid turbulence) έδωσε την μεγάλη αρχική ώθηση στην θεωρία αυτή.

Το χάος περιγράφεται και ως «παράτυπη, απρόβλεπτη συμπεριφορά των ντετερμινιστικών, μη-γραμμικών δυναμικών συστημάτων» [Gleick, 1987]. Βλέπουμε ότι υπάρχουν όροι σε αυτό τον ορισμό, όπως η «δυναμική» και οι «μη γραμμικές», που είναι επίσης συνδεδεμένοι με σύνθετες θεωρίες συστημάτων. Παραδείγματα πολύπλοκων συστημάτων αποτελούν ο καιρός, οι σεισμοί και η ανάπτυξη των κυττάρων. Ένα από τα πλέον πολύπλοκα και ενδιαφέροντα φαινόμενα είναι η ανάπτυξη ενός παιδιού από ένα μόνο κύτταρο σε ένα λεπτό και «διασυνδεδεμένο» δίκτυο, που θα έχει τη δυνατότητα να κάνει

φοβερά πράγματα ή και όχι. Διαβάζοντας κείμενα για την πολυπλοκότητα, τα πολύπλοκα συστήματα και το χάος, βρίσκουμε ότι υπάρχουν συγκεκριμένοι όροι και φράσεις που συναντώνται παντού. Συνοψίζοντας, τα πολύπλοκα συστήματα είναι μη γραμμικά, προσαρμοστικά, απρόβλεπτα αλλά ντετερμινιστικά, δυναμικά, με αταξία-διαταραχή (disorder) αλλά έχοντας τάξη, ολοκληρωμένα, διαδραστικά και με αυτοοργάνωση. Πολλές από τις ίδιες έννοιες έχουν εκφραστεί σε φιλοσοφίες-θρησκείες όπως «Taoism», «Zen» και «Quakerism» [McAdams M.A., 2008].

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η πολυπλοκότητα είναι ευρύτερο και γενικότερο πεδίο, καθώς εμπεριέχει θεωρίες συστημάτων, «fractals», χάος. Η θεωρία της πολυπλοκότητας επίσης δεν έχει έναν και σαφή ορισμό, μιας και περιλαμβάνει ποικιλία πραγμάτων και κυρίως μελετάει πολλά θέματα, για παράδειγμα από μεταβολές και προβλέψεις πληθυσμών μέχρι μοτίβα κινήσεων σε μία πόλη. Αντιθέτως, το χάος είναι ένα ακριβές και σαφές φαινόμενο το οποίο αποτελεί υποπερίπτωση της πολυπλοκότητας. Το χάος είναι φαινόμενο και συναντάται όταν, για παράδειγμα, αλλάξουν κάποιες τιμές σε παραμέτρους που ορίζουν το σύστημα στο οποίο αναφερόμαστε, οπότε λέμε ότι παρουσιάζει χαοτική συμπεριφορά.

Το χάος έχει οριστεί ως «Είδος τάξης χωρίς περιοδικότητα», «Φαινομενικά τυχαία συμπεριφορά σε ένα ντετερμινιστικό σύστημα». Ντετερμινιστικό είναι το σύστημα που είναι προβλέψιμο, σταθερό και εντελώς γνωστό, για παράδειγμα ένα κλασσικό ρολόι. Ο Laplace (1749-1827) είχε πει «δώστε μου τις συνθήκες-συντεταγμένες ενός (ντετερμινιστικού) συστήματος στο παρελθόν και το παρόν και θα σας πω το μέλλον του» [Gleick,1987]. Είναι ένα δυναμικό φαινόμενο, δηλαδή συμβαίνει όταν υπάρχουν αλλαγές. Αυτές, μπορεί να είναι δύο ειδών :

- Οι τυπικές, συμβατικές οι οποίες μελετώνται από την “κλασσική” φυσική και την δυναμική.
- Οι χαοτικές.

Επίσης μπορεί να υπάρχουν και άλλες που δεν γνωρίζουμε.

Στα συστήματα που μελετάει η θεωρία του Χάους είναι χαρακτηριστικό ότι ακόμα και στα μαθηματικώς απλά (συστήματα) έχουμε ασταθή, απεριοδική συμπεριφορά. Καλά ορισμένα, πολύ απλά μαθηματικά μοντέλα μπορούν να εμφανίσουν φοβερά πολύπλοκη συμπεριφορά. Χαρακτηριστικό των χαοτικών συστημάτων είναι η εξάρτησή τους από τις αρχικές συνθήκες. Μικρές, λεπτές αλλαγές στην αρχή οδηγούν σε μεγάλες αλλαγές έπειτα. Αυτή η συμπεριφορά αναφέρεται ως «υπογραφή του χάους» [Abrams I., 2008].

Ένα λογικό ερώτημα είναι το πώς και δεν είχε παρατηρηθεί και ανακαλυφθεί παλιότερα αυτό το φαινόμενο. Η απάντηση πρέπει να αναζητηθεί στον τρόπο ανάλυσης και αντιμετώπισης δύσκολων προβλημάτων από τους επιστήμονες. Συγκεκριμένα, όπως διαπιστώθηκε μετά από προσωπική συζήτηση με τον κ.Τσιρώνη καθηγητή του Τμήματος Φυσικής στο Πανεπιστήμιο Κρήτης, η μέθοδος είναι η κατάτμηση των προβλημάτων σε απλούστερα για να μελετηθούν πιο εύκολα. Έτσι, μειώνονται τα δύσκολα μη γραμμικά προβλήματα σε κάποια απλούστερα γραμμικά που επιλύονται ευκολότερα. Με αυτό τον τρόπο βέβαια γίνονται απλουστεύσεις και έτσι δεν είχαν γίνει παρατηρήσεις για φαινόμενα που αργότερα ονομάστηκαν χαοτικά. Ένα παράδειγμα τέτοιας απλούστευσης είναι οι εξισώσεις οι οποίες εμπεριέχουν την

τριβή, στις οποίες συχνά, για λόγους ευκολίας υπολογισμών έστω και αν είναι προσεγγιστικοί, αφαιρείται ο παράγοντας της τριβής και εξετάζονται σαν γραμμικές απλές εξισώσεις.

Δύναμη=μάζα x επιτάχυνση,

αλλά χωρίς να λαμβάνουμε υπόψιν μας την τριβή η οποία ως μη γραμμική περιπλέκει τα πράγματα [Abrams I.,2008].

Ο McAdams στο άρθρο του αναφέρει ότι στο λεξικό ο ορισμός του όρου «complex» είναι: «αυτό που αποτελείται από διασυνδεδεμένα ή συνυφασμένα τμήματα». Αν τα στοιχεία είναι αλληλένδετα και, συνεπώς, συνδέεται το ένα με το άλλο, αυτό θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και ως ένα σύστημα. Έτσι, η πολυπλοκότητα έχει ενσωματωθεί στη θεωρία συστημάτων, οπότε αναφέρονται ως πολύπλοκα συστήματα [Cameron L. et al,2007]. «Ένα χαρακτηριστικό όλων των πολύπλοκων συστημάτων είναι η χαοτική φύση τους. Χάος, στο ευρύ κοινό, θεωρείται συνώνυμη έννοια με το τυχαίο και την αναταραχή-αταξία (disorder). Αν αυτό ήταν αλήθεια τότε θα υπήρχε ελάχιστη βάση για να μελετηθεί από τους μαθηματικούς, φυσικούς και άλλους» [McAdams, M.A. 2008]. Οτιδήποτε μπορεί να αλλάξει σε μια δεδομένη κατάσταση λέγεται μεταβλητή. Μια οντότητα η οποία μεταβάλλεται με τον χρόνο ονομάζεται σύστημα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα συστημάτων είναι το ανθρώπινο σώμα, πληθυσμοί ζώων, μια αρρώστια που εξαπλώνεται σε μια χώρα, ένα σχολείο [Abrams I.,2008, pp.10-11].

3.1.3 Χάος και Πολυπλοκότητα πέρα από τη Φυσική

Από την πλευρά της βιολογίας υπάρχει η αντίστοιχη ματιά πάνω στην τάξη του σύμπαντος και την διαίωνηση της ζωής. Όπως αναφέρεται στο βιβλίο *The selfish Gene* (Το εγωιστικό γονίδιο) του Βρετανού βιολόγου Richard Dawkins, «τα γονίδια είναι τα στοιχειώδη τμήματα γενετικών μηνυμάτων που έχουν νόημα». Χωρίς μεταλλάξεις αναπαράγουν πανομοιότυπα αντίγραφα του εαυτού τους, οπότε γίνονται εν δυνάμει αθάνατα.

«Τα φυτά και τα ζώα δεν είναι παρά τα θνητά οχήματα που τα μεταφέρουν. Υπάρχει λόγος να πιστεύουμε ότι πολλά γονίδια κάνουν ωτοστόπ σ' αυτά τα θνητά οχήματα και δεν κάνουν τίποτα, μα τίποτα χρήσιμο (ή, ίσως είναι στην πραγματικότητα επιζήμια). Η συγκατοίκηση πολλών εγωιστικών γονιδίων δεν είναι εύκολη υπόθεση. Είναι κάτι τελείως περιττό και θα θέλαμε να βάλουμε κάποια τάξη σ' αυτή τη συνάθροιση των γονιδίων. Το σύμπαν έχει μια δόση τυχειότητας μέσα του, αλλά ταυτόχρονα και λίγη δομή. Και πάνω στο σύμπαν έχει εμφανιστεί η ζωή. Πολύ εύκολα, φαίνεται, αλλά δεν γνωρίζουμε πραγματικά πως. Τα μικρά γενετικά μηνύματα που είναι η ουσία της ζωής, αντίκρισαν την πρόκληση της τυχειότητας του σύμπαντος και προσαρμόστηκαν σ' αυτή μέσω δοκιμών και διορθώσεων. Στη συνέχεια, τα μικρά γενετικά

μηνύματα ανακάλυψαν την τέχνη του επανασυνδυασμού, η οποία λέγεται ερωτισμός. Και ήταν μια καλή ανακάλυψη γι'αυτά, διότι τους έδωσε την ευκαιρία να εκμεταλλευτούν λίγη από τη δομή του σύμπαντος.

Τα γενετικά μηνύματα της ζωής είναι συναθροίσεις εγωιστικών γονιδίων. Αλλά η φυσική επιλογή μεριμνά ως προς αυτό, ώστε τα γονίδια να μη λειτουργούν με τρόπο πολύ περιττό, ή πολύ αποτελεσματικό. Και η ζωή έχει δημιουργήσει έναν πολλαπλασιασμό σχημάτων και τεχνασμάτων προκειμένου να χρησιμοποιήσει τον κόσμο, να επωφεληθεί από τις κανονικότητες της δομής του σύμπαντος» [Ruelle D., 1999, pp.195-196].

Η θεωρία της πολυπλοκότητας και τα συστήματα χρησιμοποιούνται με τα «cellular automata», την συγκεκριμένη-ασαφή λογική (fuzzy logic), την ανάλυση «fractal», τα νευρωνικά δίκτυα και την τεχνητή νοημοσύνη. Επίσης, υπάρχει σχέση και με την κβαντική φυσική και η θεωρία αυτή δεν απορρίπτει όλες τις προηγούμενες μεθόδους ανάλυσης, αλλά επιλέγει τμήματα αυτών που θεωρούνται κατάλληλα. Για παράδειγμα, όσοι ασχολούνται με την θεωρία πολύπλοκων συστημάτων χρησιμοποιούν ακόμη σημαντικά τμήματα της στατιστικής και άλλων μαθηματικών (για παράδειγμα, «calculus») για την ανάλυση τους. Κάθε επιστημονικό ρεύμα ορίζεται και ορίζει την εποχή από την οποία προκύπτει, αλλά και πολλές φορές και τα υπόλοιπα κινήματα. Ενδιαφέρον ενδεχομένως παρουσιάζει η σχέση αρχιτεκτονικών ρευμάτων με τα αντίστοιχα επιστημονικά ρεύματα και τις πεποιθήσεις που υπήρχαν την συγκεκριμένη εποχή. Είναι ένα άλλο φάσμα από το οποίο μπορούμε να δούμε την αρχιτεκτονική. Έτσι, όπως ο «λογικός θετικισμός», ο «Φορντισμός», ο «Ρασιοναλισμός» και η Νευτώνεια φυσική συνδέονται με τον μοντερνισμό, αντίστοιχα η θεωρία της πολυπλοκότητας μπορεί να εξετασθεί ως προϊόν του μεταμοντερνισμού ή και της σύγχρονης

αρχιτεκτονικής . Οπότε, υπό αυτή τη σκοπιά η θεωρία της πολυπλοκότητας έρχεται σε ρήξη με τις ιδέες που κυριαρχούν στον 19^ο και 20^ο αιώνα [McAdams M.A., 2008].

Όπως έχει πει και ο Goguen, μια ακριβής περιγραφή της κάθε πραγματικής φυσικής κατάστασης είναι σχεδόν αδύνατη. Ως αποτέλεσμα, ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στην περιγραφή (απαραίτητη για την επικοινωνία, τη λήψη αποφάσεων, και με την ευρύτερη έννοια, για κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα) είναι να μειωθεί η απαιτούμενη ασάφεια σε ένα επίπεδο μικρής σημασίας. «Πρέπει να ισορροπήσουμε τις ανάγκες για την ακρίβεια και την απλότητα και να μειώσουμε την πολυπλοκότητα χωρίς υπεραπλούστευση, ώστε να ταιριάζει το επίπεδο της λεπτομέρειας με το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε σε κάθε βήμα του. Η ανακρίβεια της περιγραφής δεν είναι μειονέκτημα, αλλά αντιθέτως, είναι μια ευλογία εφόσον επαρκείς πληροφορίες μπορούν να μεταφέρονται με λιγότερη προσπάθεια. Την αόριστη περιγραφή την θυμόμαστε επίσης ευκολότερα. Δηλαδή, η ανακρίβεια βοηθάει στην μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα». [Goguen J.A,1969]

3.2 Η Πολυπλοκότητα στην Αρχιτεκτονική

3.2.1 Θεωρήσεις και ερμηνείες: *Venturi - Jencks- Eisenman -Salingaros-Friedman*

Έχουμε δει σε όλη την ιστορία της αρχιτεκτονικής την σχέση της με τις επιστήμες της εκάστοτε εποχής και φτάνουμε σε αυτό το σημείο στο ερώτημα αν υπάρχει σχέση της θεωρίας του χάους και της πολυπλοκότητας με την αρχιτεκτονική. Έχει άραγε χρησιμοποιηθεί η θεωρία του χάους και της πολυπλοκότητας στην αρχιτεκτονική σκέψη ή ακόμη και στην μέθοδο και πρακτική της ; Υπάρχουν δείγματα και ίχνη αυτών των θεωριών σε κάποιες αρχιτεκτονικές;

Τα δόγματα του μοντερνισμού ανέπτυξαν απaráβατους κανόνες και συστηματοποίησαν τις τεχνικές, απλουστεύοντας την πολυπλοκότητα της ζωής σε βασικές λειτουργίες και κανόνες. Αυτό εκφράστηκε στην αρχιτεκτονική, μέσω της κυριαρχίας των τυπολογιών, προτύπων και «νορμών». Τα διάσημα συνθήματα, όπως το «less is more» του Mies van der Rohe, έχουν παγιωθεί και επηρεάσει αρκετές γενιές. Με αυτή την φράση, η οποία γίνεται σχεδόν δογματική για πολλούς, πέρασε από την απαγόρευση στο πρόγραμμα, στην γεωμετρική αφαίρεση των πρωταρχικών μορφών [Gleiniger A., 2008]. Όμως όσο εξελίσσονταν οι επιστήμες και οι κοινωνικοπολιτικές σχέσεις, οι δομές των πόλεων και της ζωής γενικότερα, τόσο «φτωχότερα» στην ουσία τους φαίνονταν αυτά τα δόγματα. Ο Robert Venturi και η Denise Scott Brown ασχολήθηκαν εκτενώς με την κριτική και το χτίσιμο μιας άλλης θεώρησης των πραγμάτων με έμφαση στα σύμβολα και στην πολυπλοκότητα. Ο Robert Venturi αναγνωρίζει και παρουσιάζει από την

δική του σκοπιά την έννοια της πολυπλοκότητας και αναφέρεται στην πολύπλοκη και αντιφατική αρχιτεκτονική.

«Σήμερα, οι ανάγκες του προγράμματος, της δομής, των τεχνολογικών μέσων και της έκφρασης, ακόμη και σε απλά κτήρια που βρίσκονται σε απλό περιβάλλον, είναι ποικίλες και αλληλοσυγκρουόμενες, σε βαθμό που δεν θα το φανταζόμασταν παλιά. Οι δυσχέρειες αυξάνονται από το γεγονός ότι η πολεοδομία και ο περιφερειακός προγραμματισμός αλλάζουν τις διαστάσεις και την κλίμακα της αρχιτεκτονικής. Καλωσορίζω αυτά τα προβλήματα και εκμεταλλεύομαι το διφορούμενο που φέρνουν. Με την αποδοχή της αντίφασης, καθώς επίσης και της πολυπλοκότητας, στοχεύω στο ζωντανό και ταυτόχρονα στο έγκυρο».
[Venturi R., 1977, p.17]

Η εμμονή με τη γεωμετρική συστηματοποίηση της γλώσσας της αρχιτεκτονικής υπάρχει όσο και η ίδια η αρχιτεκτονική και ένα ακριβές παράδειγμα είναι το «Pattern Language» του Christopher Alexander. Όντας τέλειο παράδειγμα μαθηματικού και αρχιτέκτονα, ο Alexander συστηματοποιεί τις διαδικασίες (και της αρχιτεκτονικής) και έτσι η πολυπλοκότητα της ζωής ανάγεται σε ένα σύστημα κανόνων και διαγραμμάτων. Δημιουργεί δηλαδή μια μηχανή η οποία περιγράφει την διαδικασία από την σύλληψη και την γέννηση μιας ιδέας μέχρι τον σχεδιασμό και την πραγματοποίησή της. Είναι γνωστό ότι τέτοια διαγράμματα χρησιμοποιούνται πολύ από αρχιτέκτονες, όπως για παράδειγμα ο Peter Eisenman, ο οποίος βέβαια εστιάζει περισσότερο στην αναλογία θεωρητικών-αρχιτεκτονικών και φυσικών-επιστημονικών μοντέλων [Gleinig A., 2008]. Όπως μας λέει ο Clemens Bellut, στο άρθρο του «ο Γόρδιος δεσμός της

πολυπλοκότητας», το θέμα (της πολυπλοκότητας) είναι υπερβολικά αχανές και μας προϋδεάζει μόνο για περεταίρω σύγχυση και έλλειψη καθαρότητας [Bellut C., 2008]

Όσον αφορά στον δανεισμό εννοιών από άλλα πεδία διακρίνουμε μία τάση η οποία υποστηρίζει ότι στις μεταφορές αυτές πρέπει να μην χάνεται καθόλου το νόημα των εννοιών και να παραμένουν επιστημονικά ακριβείς. Την άποψη αυτή συμμερίζονται κυρίως επιστήμονες (στην περίπτωσή μας μαθηματικοί), όπως ο Salingeros, οι οποίοι ασκούν σκληρή κριτική σε οποιαδήποτε παράλειψη ή αλλαγή σε τέτοιες μεταφορές. Η δεύτερη άποψη είναι στην ουσία μια πιο ελεύθερη ματιά στο ζήτημα της ακρίβειας της μεταφοράς. Σε αυτό το τμήμα ανήκουν πάρα πολλοί αρχιτέκτονες (όχι μόνο βέβαια), θεωρητικοί και μη, οι οποίοι κοιτάζουν την γενικότερη εικόνα χωρίς να επιμένουν στην επιστημονική ορθότητα των όρων που χρησιμοποιούν. Για παράδειγμα, οι έννοιες όπως ροή, χάος, πολυπλοκότητα, τυχαιότητα, αυτοοργάνωση κ.α. χρησιμοποιούνται ευρέως, αλλά συνήθως με ένα μέρος της πραγματικής τους έννοιας μεταφρασμένης στην αρχιτεκτονική γλώσσα. Παρατηρούμε ότι σε πολλές περιπτώσεις μένει η πλευρά της εικόνας σε τέτοιες έννοιες όταν μεταφέρονται στην αρχιτεκτονική, επειδή δεν ενδιαφέρει το ίδιο το πεδίο της αρχιτεκτονικής η ολοκληρωμένη σημασία που μπορεί να έχουν στην φυσική, για παράδειγμα. Οπότε μπορεί κανείς να συμπεράνει πως στην αρχιτεκτονική βλέπουμε δύο τάσεις ως προς το θέμα της μεταφοράς εννοιών. Για παράδειγμα, ο Peter Eisenman χιτίζοντας την θεωρητική βάση της αρχιτεκτονικής της αποδόμησης χρησιμοποιεί τα φιλοσοφικά κείμενα του Jaque Derrida και επηρεάζεται επίσης πολύ από την θεωρία καταστροφών του Rene Thom. Οι κριτικοί όμως όλου του ρεύματος της αποδόμησης, όπως για παράδειγμα ο Salingeros ο οποίος είναι και μαθηματικός, αναφέρουν ότι είναι ψεύτικη αυτή η σχέση

επιστημονικού πεδίου και αρχιτεκτονικής [Salingaros N.A., 2008] Η θεωρία των καταστροφών για παράδειγμα δεν προχώρησε ούτε έκανε τόσο αντίκτυπο όσο περίμενε η επιστημονική κοινότητα. Αρχικά έλεγαν ότι θα επηρεάσει κάποιους τομείς στο σύνολό τους, για παράδειγμα την βιολογία, αλλά δεν άλλαξε σχεδόν τίποτα. Όμως όπως έχουμε δει στην αρχιτεκτονική, υπάρχει δυνατότητα να δανείζεται από οποιοδήποτε πεδίο τα στοιχεία που χρειάζεται είτε για να αντλήσει υλικό «έμπνευσης και δημιουργίας» είτε για να στηρίξει το θεωρητικό οικοδόμημα. Έτσι, στο παράδειγμά μας, ο Eisenman κάνει αυτό ακριβώς το πράγμα, αλλά χωρίς να χρησιμοποιεί τις έννοιες της θεωρίας καταστροφών όπως αναφέρονται στο επιστημονικό τους κομμάτι, ανήκει δηλαδή στην δεύτερη κατηγορία που αναφέραμε παραπάνω. Βλέπουμε δηλαδή, την έννοια της μεταφοράς-απλούστευσης όρων από τις επιστήμες στην αρχιτεκτονική είτε της παραλλαγής τους μέσω της αφαίρεσης ή με τον περιορισμό της έννοιας σε κάποια από τις διαστάσεις της. Ο Charles Jencks είναι ένας από τους υπέρμαχους της αρχιτεκτονικής των διάσημων αρχιτεκτόνων της αποδόμησης όπως ο Peter Eisenman, Frank Gehry και Daniel Libeskind. Ο Jencks αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα της δεύτερης περίπτωσης όσον αφορά στο πέρασμα όρων από τις επιστήμες στην αρχιτεκτονική. Ο ίδιος μάλιστα επηρεάζεται και εμπνέεται στην αρχιτεκτονική τοπίου του από τα «fractals», την γενετική, την θεωρία του Χάους, τα κύματα και τα σολιτόνια⁶. Αναφέρει τα έργα των παραπάνω αρχιτεκτόνων ως «το νέο παράδειγμα στην αρχιτεκτονική», μιας και έργα τους, όπως λέει ο ίδιος, βασίζονται στις Νέες Επιστήμες, όπως η πολυπλοκότητα, «fractal», «emergence», αυτοοργάνωση και αυτοομοιότητα [Jencks C., 1997] Ακόμη, αρχιτέκτονες όπως για παράδειγμα η Zaha Hadid, η οποία είναι και

⁶ Στα μαθηματικά και τη φυσική το σολιτόνιο είναι ένα αυτοενισχυόμενο μοναχικό κύμα, ένα πακέτο κύματος ή ένας παλμός που διατηρεί το σχήμα του ενώ ταξιδεύει με σταθερή ταχύτητα.

μαθηματικός, χρησιμοποιούν μαθηματικά μοντέλα και γεωμετρικές αναλύσεις στα κτήριά τους. Όμως, ασκείται μεγάλη κριτική στους παραπάνω αρχιτέκτονες και ένα σημαντικό κομμάτι προέρχεται από τους υπέρμαχους της πρώτης κατηγορίας που είδαμε (της «απόλυτης» μεταφοράς των όρων). Όπως λέει ο μαθηματικός Nikos A. Salingaros:

«Φαίνεται ότι υπάρχει μια βασική σύγχυση στην σύγχρονη αρχιτεκτονική ανάμεσα στις διαδικασίες και στις τελικές εμφανίσεις. Οι επιστήμονες μελετούν το πώς πολύπλοκες μορφές γεννιούνται από διαδικασίες οι οποίες οδηγούνται από ανάπτυξη fractal, emergence, προσαρμοστικότητα και αυτοοργάνωση. Όλα αυτά δρουν για κάποιο λόγο. Ο Jencks και οι αρχιτέκτονες της αποδόμησης από την άλλη βλέπουν μόνο το τελικό αποτέλεσμα τέτοιων διαδικασιών και απλά βάζουν αυτές τις εικόνες στα κτήριά τους. Όμως αυτό είναι επιτόλαιο και δίχως νόημα. Θα μπορούσαν αντίστοιχα να παίρνουν εικόνες από άλλους κλάδους μιας και αυτή η επιφανειακή εφαρμογή δεν έχει καμία σχέση με επιστήμη».
[Salingaros N.A., 2008, p.130]

Υπάρχουν ορισμένα σημαντικά ερωτήματα που απαιτούν μεγαλύτερη διερεύνηση. Μιλώντας για τα είδη πολυπλοκότητας αναφερόμαστε και στην μορφολογική πολυπλοκότητα; Για την αυστηρά ορισμένη από την φυσική, με εξισώσεις, φαινόμενα και πειράματα; Από μορφολογικής άποψης, βλέπει κανείς αρκετές διαφορές ως προς την πολυπλοκότητα. Το 1967 στην έκθεση του Montreal, φαίνεται η σκέψη της εποχής πάνω στην δόμηση έχοντας δίπλα τον γεωδαιτικό θόλο του Buckminster Fuller και το «Habitat» του Moshe Safdie. Ο θόλος του Fuller είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα μείωσης της κατασκευαστικής πολυπλοκότητας λόγω της “έξυπνης” γεωμετρίας και των συνδέσεων του θόλου. Αντιθέτως, το «Habitat»

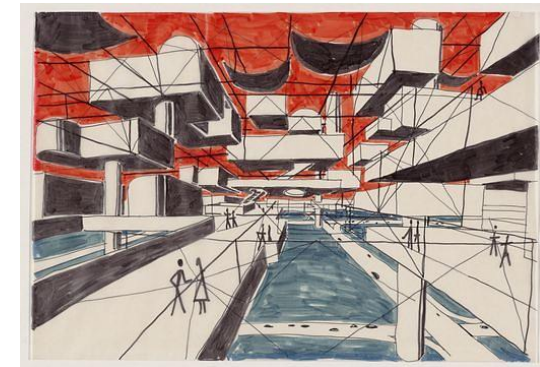
με τα «ατάκτως ερριμένα» κουτιά και την δύσκολη για παρατήρηση και κατανόηση δομή του, μας εισάγει σε μια συνολικότερη πολυπλοκότητα. Ας μην ξεχνάμε ότι πρόκειται για σύμπλεγμα κατοικιών, οπότε η πολυπλοκότητα της δομής επηρεάζει άμεσα και την πολυπλοκότητα του προγράμματος κ.α. Στην εποχή αυτή των γιγαντιαίων κατασκευών, με την πολυπλοκότητα διαμορφωμένη κυρίως δομικά και με την επιμονή στον πολλαπλασιασμό, εμφανίζονται οι Γιαπωνέζοι μεταβολιστές. Αυτοί βασίζουν την λογική της δόμησής τους στις αναλογίες και τη λογική της φυσικής ανάπτυξης κατασκευάζοντας ή δημιουργώντας αστικά γλυπτά μεγάλων αναλογιών. Σε άλλους αρχιτέκτονες, όπως οι Αυστραλοί Gunter Domenig και Eilfried Huth, αλλά και στον Yona Friedman, συναντά κανείς σκέψεις και ανησυχίες μέσω κοινωνικών μοντέλων πολυπλοκότητας [Gleiniger A., 2008, p.51].

Ο Yona Friedman με τη «Ville Spatiale» 1985, πρότεινε μια τεράστια κατασκευή η οποία θα «έπλεε» πάνω από το Παρίσι, παρουσιάζοντας μια νέα χωρικότητα στην πόλη και αλλάζοντας ριζικά την ζωή σ' αυτήν. Επίσης, με το όραμα αυτό ανοίγουν απεριόριστες δυνατότητες και η πολυπλοκότητα της ζωής μπορεί να εξελιχθεί μέσω της κοινωνικής επαφής, χωρίς να αποτελεί τροχοπέδη η παλιά πόλη με τους συμβολισμούς και τα μηνύματά της. Μπορεί γι' αυτό στην σημερινή εποχή να έχουν επανεμφανιστεί τέτοια σενάρια και ιδέες, παρουσιάζοντας ενδιαφέρον όχι λόγω της τεράστιας δομής τους, αλλά λόγω της έννοιας της αυτοοργάνωσης. Επίσης, επειδή στοχεύουν στον σχηματισμό κοινωνικών μοντέλων με χώρους οι οποίοι είναι υλοποιήσιμοι λόγω της τεχνολογίας και σχετίζονται με κοινωνικοπολιτικές λειτουργίες [Gleiniger A., 2008, p. 53].

Κατά τον Georg Vrachlioti, η πολυπλοκότητα στην αρχιτεκτονική χωρίζεται σε τρεις τομείς, την «gestalt-psychological», την «cybernetic» και την «biological-algorithmic». Ο Charles Jencks αποτελεί παράδειγμα υπέρμαχου της αρχιτεκτονικής των P.Eisenman, F.Gehry και D.Libeskind, ως σύμβολα πολυπλοκότητας. Σύμφωνα με τον Vrachlioti, ο Jencks στην επιχειρηματολογία του αποτυγχάνει να ξεφύγει πέρα από το επίπεδο του ορατού και επιμένει ότι η πολυπλοκότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αρχιτεκτονική μορφή. Ενώ όπως λέει, η πολυπλοκότητα έχει πολύ περισσότερες εκφάνσεις, οι οποίες δεν μπορούν να περιοριστούν στο ορατό και στην μορφή [Vrachliotis G., 2008, p.71-72]. Για παράδειγμα, η αλγοριθμική πολυπλοκότητα, η οποία δεν είναι απτή και δεν έχει απαραίτητα σχέση με την υλοποίηση. «Όλες οι τεχνολογίες πληροφόρησης λειτουργούν ανεξάρτητα από την μορφή, λειτουργούν κυρίως στο επίπεδο της δομής» [Vrachliotis G., 2008, p.72].



Εικόνα 74: Yona Friedman ,«Ville Spatiale» ,1985, Floating city above Paris,project



Εικόνα 75: Ville Spatiale

3.2.2 Πολυπλοκότητα και Υπολογιστικά συστήματα στην Αρχιτεκτονική

Βασικό πρόβλημα στην αρχιτεκτονική σήμερα, κατά τον Kosta Terzidi, είναι η «ποσότητα της πληροφορίας και το επίπεδο της πολυπλοκότητας το οποίο εμπεριέχεται στα περισσότερα κτήρια, ειδικά σε πολύ ψηλά κτήρια αλλά και σε μεγάλης κλίμακας συγκροτήματα κατοικιών» [Terzidis K., 2008, p.81]. Πολλά προβλήματα, για παράδειγμα, προκύπτουν κυρίως λόγω της ανάγκης για ιδιωτικότητα, διατήρηση ξεχωριστής ταυτότητας των οικογενειών κ.α. Η πρόκληση σε τέτοια μεγάλα συγκροτήματα και «project» είναι να «ικανοποιήσει κανείς όλες τις πολύπλοκες απαιτήσεις και ανάγκες χωρίς την χρήση συμβατικών επαναλαμβανόμενων μοτίβων». Οι Snyder και Ding αντιμετώπισαν το πρόβλημα των μεγάλης κλίμακας ψηλών κτηρίων χρησιμοποιώντας «cellular automata» βάζοντας περιορισμούς που προκύπτουν από τις ανάγκες των κατοικιών. Η χρήση πολλαπλών διαδικασιών λήψεων αποφάσεων, οι οποίες βασίζονται σε τοπικές γειτνιαζουσες πληροφορίες, συνεισφέρουν ώστε να έχουμε συλλογική προκύπτουσα διαταγμένη συμπεριφορά (collective emergent ordered behavior) [Terzidis K., 2008, p.80]. Αυτά τα συστήματα λέγονται «cellular automata» και παρουσιάζουν «αυτονομία, πολυπλοκότητα, αυτοσυντήρηση, προσαρμοστικότητα και τάξη». Ακόμη, έχουν χρησιμοποιηθεί για να «περιγράψουν, να εξηγήσουν και να προβλέψουν πολύπλοκες συμπεριφορές στα πεδία της βιολογίας, μαθηματικών, φυσικής και των κοινωνικών συστημάτων» [Terzidis K., 2008, p.80].

Σύμφωνα με τον Kosta Terzidi, η τυχαιότητα είναι προβληματική για τους σχεδιαστές και αρχιτέκτονες, λόγω της παραδοσιακής αντίληψης ότι το σχέδιο σχετίζεται άμεσα με συγκεκριμένο σκοπό,



Εικόνα 76: Κτήριο μεταβολιστών, κυψέλες-διαμερίσματα, Ιαπωνία. Kurokawa



Εικόνα 77: Μοεφολογική πολυπλοκότητα, "Megastructure" μεταβολιστών

πρόθεση και στόχο. Η παραδοσιακή ματιά επίσης βλέπει την σχεδίαση σαν αποτέλεσμα που προκύπτει αποκλειστικά από το μυαλό ενός σχεδιαστή. Ανατρέποντας αυτές τις θεωρήσεις, έρχεται η υπολογιστική θεωρία να μιλήσει για σχέδιο χωρίς απαραίτητα να υπάρχει ένας συντονιστής, οργανωτής σχεδιαστής [Terzidis K., 2008, p.81-83].

Τελευταία γίνονται πολλές αναφορές και συζητήσεις πάνω στην χρήση υπολογιστικών συστημάτων στην σχεδιαστική διαδικασία με πολλούς υποστηρικτές και από τις δύο πλευρές. Έχουν γίνει πάρα πολλές μελέτες στις υπολογιστικές μεθόδους εδώ και τέσσερις δεκαετίες, ξεκινώντας με τα «Notes on the Synthesis of Form» του Christopher Alexander και «Πολυπλοκότητα και Αντίφαση στην Αρχιτεκτονική» του Robert Venturi. Αρχιτέκτονες, σχεδιαστές και πολεοδόμοι ανησυχούν με την αυξανόμενη πολυπλοκότητα στον σχεδιασμό κτηρίων, δημόσιων περιοχών και πόλεων. Έτσι με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, στο οποίο βοήθησε πάρα πολύ η ανάπτυξη των αντίστοιχων επιστημών, προσπαθούν να αυτοματοποιήσουν τις «χειροκίνητες» διαδικασίες παραγωγής για εξαιρετικά πολύπλοκα έργα [Terzidis K., 2008, p.83].

Ιστορικά, οι αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην αρχιτεκτονική και είναι συχνή παρανόηση ότι σχετίζονται αποκλειστικά με υπολογιστές. Επίσης, οι αλγόριθμοι στην αρχιτεκτονική χρησιμοποιούνται πολλές φορές όχι για την επίλυση κάποιου συγκεκριμένου προβλήματος, αλλά στην διαδικασία του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Εξάλλου, ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός είναι μια «ανοιχτή διαδικασία, ροϊκή και αβέβαιη» [Terzidis K., 2008, p.85]. Για να ληφθούν αποφάσεις μέσα στην αβεβαιότητα χρειάζεται, κατά τον Terzidi, αρκετή εμπειρία, διαίσθηση και ευστροφία. Ακόμη, υπάρχει η άποψη ότι χρειάζεται η ικανότητα να κάνει κανείς όσο περισσότερα λάθη γίνεται, μέσω δοκιμών, μέχρι να

«προκύψει» ή να αντιμετωπιστεί σωστή λύση. Αυτή η λογική έχει δοκιμαστεί με την χρήση υπολογιστή και προγραμμάτων στα οποία μπαίνουν περιορισμοί και παράμετροι ανάλογα με το θέμα-αντικείμενο σχεδίασης και παράγονται έτσι όλες οι πιθανές λύσεις. Κάτι τέτοιο είναι φυσικά αδύνατο να γίνει μόνο από τον άνθρωπο-σχεδιαστή, οπότε οι κριτικές και οι προβληματισμοί πάνω σε τέτοιες μεθόδους είναι ισχυροί.

Τα βασικά επιχειρήματα ενάντια σε μια τέτοια μέθοδο είναι, πρώτον ότι είναι υπερβολικά δύσκολο να κοιτάξει κανείς όλες τις πιθανότητες λύσεων που υπάρχουν (ακόμη και με τη χρήση υπολογιστών) και δεύτερον ότι «χάνεται έτσι το σημαντικότερο συστατικό οποιασδήποτε απόφασης: η ανθρώπινη συμμετοχή» [Terzidis K., 2008, p.85].

«Οι αποφάσεις παρουσιάζουν εξ ορισμού σκοπιμότητα κάτι το οποίο τις καθιστά κατεξοχήν ανθρώπινες. Στα υπολογιστικά συστήματα λείπει η δύναμη της αιτίας που θα τους έδινε σκοπιμότητα και προθέσεις, απαραίτητες προϋποθέσεις της σκέψης. Όροι όπως η κατανόηση, η λήψη αποφάσεων, ακόμα και άλλοι, όπως το να γνωρίζεις, να προτείνεις και να βοηθάς, εμπεριέχουν ένα βασικό επίπεδο συνείδησης το οποίο δεν κατέχουν οι υπολογιστικές συσκευές» [Terzidis K., 2008, p.85].

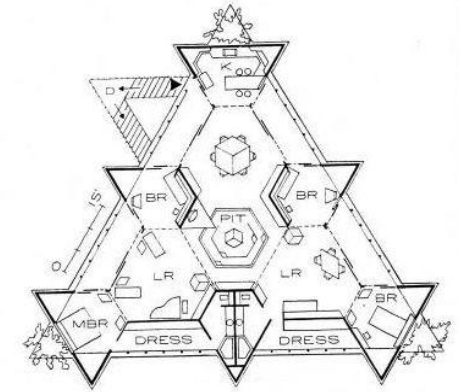
Αν και αποτελεί παράδοξο, τέτοιες «πιθανολογικές» μέθοδοι ορισμένες φορές γεννούν λύσεις σε πολύπλοκα προβλήματα με ενδιαφέρουσες λύσεις συνήθως μέσω τυχαίων επαναλήψεων. Βλέπουμε λοιπόν για ακόμη μια φορά το πώς η τυχαιότητα εισχωρεί στην αρχιτεκτονική μέσω των υπολογιστικών συστημάτων. Σε αυτή την παραπάνω περίπτωση, είδαμε πως μπορεί να βοηθήσει κιάλας. Ακόμη, με τυχαία δειγματοληψία πολλαπλών λύσεων βρίσκεται συχνά κάποια λύση που πιθανώς δεν θα είχε ποτέ σκεφτεί ο

σχεδιαστής. Αυτός ο τομέας είναι σχετικά καινούργιος και έχει φοβερές δυνατότητες, αλλά ίσως πρέπει να εξετάζεται καλύτερα η σχέση του οργανωτή-σχεδιαστή με τον υπολογιστή και την δημιουργία αυτής της υπολογιστικής διαδικασίας που περιγράφεται παραπάνω [Terzidis K., 2008, p.86]. Ας μην ξεχνάμε ότι η διαδικασία του σχεδιασμού περιέχει δόσεις τυχαιότητας και όσο περισσότερα βήματα και πολυπλοκότητα έχει τόσο «υπακούει» στους νόμους και τις εξισώσεις του χάους.

4. Από την τάξη στην αταξία στην αρχιτεκτονική, η περίπτωση της πόλης

4.1 Πολύπλοκα συστήματα σε κλίμακα κτηρίου

Εξετάζοντας την κάτοψη του σπιτιού που σχεδίασε ο Bruce Goff το 1958 στο Gulfport του Μισισισιπή, διαπιστώνουμε ότι πρόκειται για μια «fractal» σχεδίαση και οργάνωση του χώρου με ισόπλευρα τρίγωνα διαφορετικής κλίμακας. Τέτοια παραδείγματα υπάρχουν πολλά, και αρχιτέκτονες όπως ο Mies van der Rohe κ.α. έχουν σχεδιάσει αντίστοιχα κτήρια, αλλά αναφέρουμε τον Bruce Goff γιατί είναι ένας από τους πρώτους που χρησιμοποιούν στα κτήρια τους «παράξενους ελκυστές» (strange attractors) για να οργανώσουν ένα δίκτυο δυνάμεων για τις κινήσεις μέσα στις κατοικίες. Έχουμε δηλαδή το πέρασμα σε έννοιες που μελετώνται από τη θεωρία του χάους.



Εικόνα 78: : Κάτοψη του Gutman House του Bruce Goff, 1958, το οποίο έχει καταστραφεί από φωτιά.

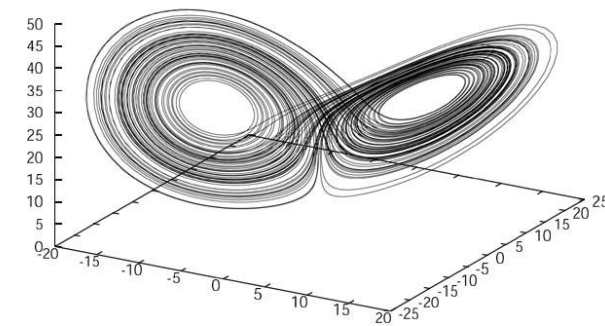
Η Zaha Hadid πρότεινε ένα σχέδιο για το Cardiff Bay Opera House στο οποίο χρησιμοποίησε



Εικόνα 80 Σχέδιο Cardiff Bay Opera House, Zaha Hadid



Εικόνα 81: Cardiff Bay Opera House, Zaha Hadid



Εικόνα 79 Ο παράξενος ελκυστής του Edward Lorenz

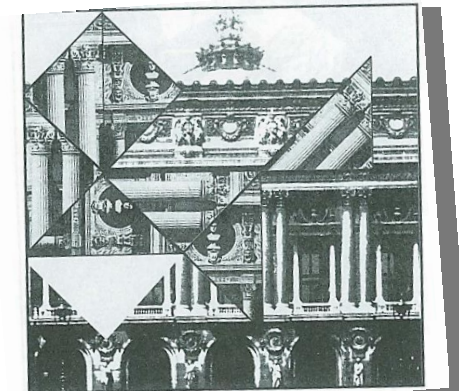
«fractal» γεωμετρία για να τμήσει τα επίπεδα και τους όγκους καταργώντας έτσι την συνέχεια. Η πρόταση αυτή κέρδισε πρώτο βραβείο, αλλά κρίθηκε πολύ αμφιλεγόμενη και πολύ προχωρημένη για τις προτιμήσεις των περισσότερων [Abrams I., 2008].

Έννοιες όπως το χάος, η μη γραμμικότητα και η ανατροφοδότηση (feedback) συναντώνται συχνά στην μεταμοντέρνα αρχιτεκτονική (κυρίως με την ελεύθερη, χαλαρή μορφή, αναφερόμαστε στην δεύτερη κατηγορία δηλαδή). Όπως λέει ο Charles Jencks, γεννιέται με αυτό τον τρόπο «μια αρχιτεκτονική κυμάτων και περιστροφών η οποία κυματίζει, αυξάνεται και μειώνεται συνεχόμενα αλλά και απότομα». Όμως, δεν συναντούμε τέτοιες έννοιες μόνο στην μεταμοντέρνα αρχιτεκτονική (και στην αρχιτεκτονική της αποδόμησης) αλλά και σε αρκετά παλιότερες. Για παράδειγμα, «fractal» κλιμάκωση βλέπουμε στο μπαρόκ κτήριο της Όπερας του Παρισιού, σχεδιασμένη από τον Charles Garnier (1825-1898) και χτισμένη από το 1861 έως το 1875, το οποίο αναλύθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο.

Σημαντικό είναι ίσως σε αυτό το σημείο να γίνει ένας διαχωρισμός ανάμεσα στις αρχιτεκτονικές προθέσεις των εννοιών του χάους, της τυχαιότητας, της πολυπλοκότητας κ.α. και στις εμφανίσεις τέτοιων εννοιών σε κτήρια. Βλέπουμε για παράδειγμα, σε κάποια μπαρόκ κτήρια, όπως η Όπερα στο Παρίσι, να «εμφανίζονται» ιδιότητες αυτο-ομοιότητας ανάλογα με την κλίμακα (fractal κλιμάκωση δηλαδή) κάτι το οποίο είναι μάλλον απίθανο να γίνεται εντελώς συνειδητά και εσκεμμένα. Παρατηρούμε πώς φτάνουν τα ακραία πλοκάμια της πολυπλοκότητας και του χάους σε κτήρια τα οποία δεν πραγματεύονται τέτοιες έννοιες. Όμως, υπάρχει και η άλλη περίπτωση, όπου τα κτήρια και η σκέψη πίσω από αυτά εμπλέκουν εσκεμμένα το χάος, την τυχαιότητα, τα fractal και την αυτο-οργάνωση. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει το



Εικόνα 83: Όπερα του Παρισιού, σχεδιασμένη από τον Charles Garnier (1825-1898) και χτισμένη από το 1861 έως το 1875



Εικόνα 82: Όπερα του Παρισιού, σχεδιασμένη από τον Charles Garnier, fractal σχέσεις

παράδειγμα της Zaha Hadid με την Όπερα στο Cardiff Bay, όπου η fractal ανάλυση συμβαίνει (εσκεμμένα), δεν «τυχαίνει». Ακόμη, στα έργα του Charles Jencks φαίνεται η πρόθεση αυτή, καθώς παίρνει ιδέες είτε δανείζεται μορφές από τις αναπαραστάσεις του χάους, από παράξενους ελκυστές, από διαγράμματα διακλαδώσεων (bifurcations) και κινήσεις σολιτονίων.

4.2 Χάος και Πολυπλοκότητα στην αστική κλίμακα

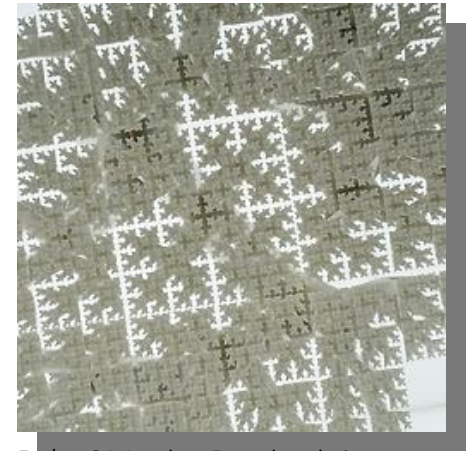
Στις πόλεις στο σύνολό τους διακρίνεται ευκολότερα η εμφάνιση του χάους και της πολυπλοκότητας. Οι πόλεις, ειδικά όσο αναπτύσσονται μεγάλα αστικά μητροπολιτικά κέντρα, εξελίσσονται από ορισμένες, με σαφείς και ελεγχόμενες οντότητες σε μη ελεγχόμενα και απρόβεπτα περιβάλλοντα. Από την θετικιστική, ουμανιστική και Μαρξιστική-στρουκτουραλιστική εικόνα της πόλης του μοντερνισμού, περνάμε στην χαοτική πόλη του μεταμοντερνισμού [Abrams I., 2008]. Αυτή είναι μία από τις απόψεις που αφορούν την εικόνα της πόλης στο μοντερνισμό και μεταμοντερνισμό. Αν εξετάσουμε τις πόλεις, βλέπουμε μια πληθώρα συντελεστών που τις απαρτίζουν, από την πολυπολιτισμικότητα, τις πόλεις μέσα σε πόλεις (για παράδειγμα οι «China Towns» της Δύσης), τα σύγχρονα αστικά γκέτο, περιοχές εγκαταλελειμμένες, περιοχές ανάλογα με τις σεξουαλικές προτιμήσεις και πολλά άλλα. Αυτά δεν είναι τελευταία φαινόμενα, αλλά τώρα πλέον όλα αλλάζουν γρηγορότερα, τίποτα δεν μένει σταθερό και ανεπηρέαστο από την δύνη

των παγκόσμιων αλλαγών (κυρίως οικονομικοί ελκυστές αλλά και κοινωνικοπολιτικοί). Για να καταλάβουμε καλύτερα τις σημερινές πόλεις πρέπει ίσως να καταλάβουμε την ποικιλία η οποία απαρτίζει και «παράγει» μια σύγχρονη πόλη. «Οι παραδοσιακές θεωρήσεις της πόλης, ως αρχιτεκτονική σε μεγάλη κλίμακα, δεν μπορούν εύκολα να συνδεθούν με την θεωρία των πόλεων ως κοινωνικά, πολιτιστικά, οικονομικά και θεσμικά συστήματα» [Abrams I., 2008]. Μία από τις βασικότερες απαιτήσεις μιας πόλης, όσον αφορά στους αρχιτέκτονες, είναι η κατανόηση όλων των συντελεστών-πολύπλοκων συστημάτων που δομούν μια πόλη. Αυτό όμως δεν είναι κάτι εύκολο, για παράδειγμα τα κοινωνικά συστήματα δεν μεταφράζονται ούτε σχετίζονται εύκολα με χωρικές μορφές. Έτσι, η κατανόησή μας δυσχεραίνεται από την ποικιλομορφία, την πολυπλοκότητά τους αλλά και από αυτή την αδυναμία μετάφρασης. Σε αυτό το σημείο είναι που εισέρχεται το χάος το οποίο μας δίνει βαθύτερη κατανόηση της χωρικής διάταξης της πόλης. Κάτι τέτοιο γίνεται και μέσω της «fractal» ανάλυσης των πόλεων.

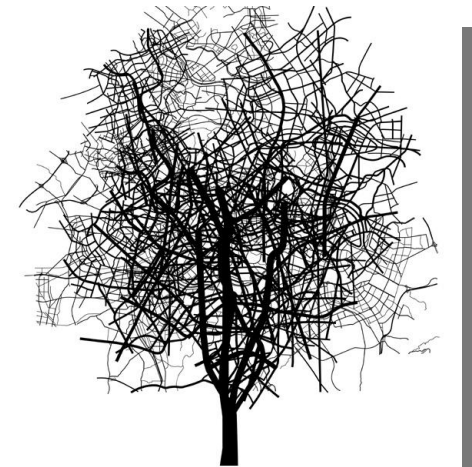
Οι πόλεις παρουσιάζουν τέλεια χαρακτηριστικά για την εφαρμογή (και ανάλυση μέσω) της fractal γεωμετρίας, η οποία αποτελεί όπως είδαμε απεικόνιση και έκφραση της θεωρίας του Χάους. Συγκεκριμένα, παρουσιάζουν κάποια αταξία στα περισσότερα μέρη τους και στις λειτουργίες τους παρουσιάζουν αυτοομοιότητα σε πολλές κλίμακες. Παραδείγματα fractal δομών αποτελούν οι γειτονιές, οι συνοικίες-περιοχές και οι τομείς μέσα στις πόλεις και τα δίκτυα μεταφορικών συστημάτων που πατάνε αλλά και δημιουργούν ιεραρχίες περιοχών στην πόλη. Επίσης, τα κέντρα μεγάλης επιρροής της πόλης καθρεφτίζουν και αυτά την οικονομική εξάρτηση του τοπικού στο υπερτοπικό και τούμπαλιν. Αυτές οι fractal ιδιότητες της πόλης, με την διαστρωμάτωση περιοχών, λειτουργιών αλλά ακόμα και μορφής (τοπογραφικά κυρίως), επιτρέπουν

στους γεωγράφους, πολεοδόμους και αρχιτέκτονες να μελετήσουν πυκνότητες πληθυσμών, χρήσεις γής και χωρικές υφές τα οποία αντανakλούν χωρικές αντιπαραθέσεις. [Abrams I., 2008] Η fractal γεωμετρία εφαρμόζεται στις πόλεις με την εικονική αναπαράσταση της μορφής των πόλεων μέσω υπολογιστικών μοντέλων και γραφικών υπολογιστών. Ακόμη, εφαρμόζεται, «μέσω μετρήσεων μοτίβων σε πραγματικές πόλεις και στην δυναμική προσομοίωσή τους». [Abrams I.,2008, p.127]

Ο Michael Batty (καθηγητής Χωρικής Ανάλυσης και Σχεδιασμού στο Πανεπιστήμιο του Λονδίνου) είναι πρωτοπόρος σε αυτό που αποκαλούμε «fractal πόλεις». Όπως λέει ο ίδιος : «Χρησιμοποιώντας fractal γεωμετρία μπορούμε να εξερευνήσουμε την γεωμετρία των πόλεων πρώτα καθορίζοντας το μέγεθος και διαφοροποιώντας την κλίμακα και μετά καθορίζοντας την κλίμακα και διαφοροποιώντας το μέγεθος. Αυτή η ιδέα είναι κεντρικής σημασίας στην ανάπτυξη της θεωρίας μιας fractal πόλης.» [Abrams I.,2008, p.128] Η βασική σύνδεση των fractal διαστάσεων μιας πόλης ενέχει τον συσχετισμό του πληθυσμού και της πυκνότητάς του με τις γραμμικές διαστάσεις και την επιφάνεια (περιοχή). Αυτοί οι συσχετισμοί δομούνται σε αθροιστική ή σωρευτική μορφή (incremental or cumulative) [Abrams I.,2008, p.128]. Ένα ίσως ενδιαφέρον fractal είναι το Λονδίνο (βλ. εικόνα 77). Συνεχίζοντας λέει ο ίδιος «Αυτοί οι fractal συσχετισμοί φαίνεται να έχουν μεγαλύτερη λογική και αιτία από αυτούς που χρησιμοποιούνταν παραδοσιακά και όλη η προσέγγιση μας δείχνει πόσο προσεκτικός πρέπει να είναι κάποιος στον προσδιορισμό και την μέτρηση πυκνοτήτων. Ένα συμπέρασμα της δουλειάς μου είναι ότι πολύ από την δουλειά που αφορά την θεωρία της αστικής πυκνότητας και τις εφαρμογές της τα προηγούμενα σαράντα χρόνια, πρέπει να επανεξεταστούν υπό το φως αυτών των εξελίξεων.» Batty από [Abrams I.,2008, p.130] Η γραμμή του ορίζοντα σε μερικές



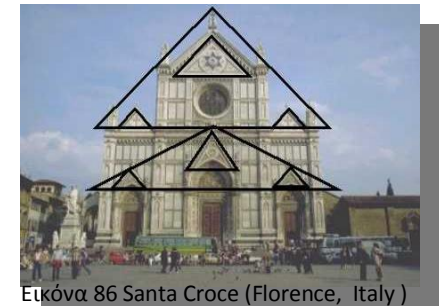
Εικόνα 84: London, Fractal analysis



Εικόνα 85 - Artist Lee Jang Sub (www.leejangsub.com) tries to find harmony in the complexity of Seoul city map. He argues that a tree, though complex, has a harmony when seen from an overall perspective. Similar is the case with cities

πόλεις, όπως για παράδειγμα στο Μανχάτταν, μπορεί να είναι στην ουσία fractal. Όπως βλέπουμε, fractal γεωμετρίες καθώς και μοτίβα που παρουσιάζουν αυτοομοιότητα, βρίσκονται παντού γύρω μας, στην φύση, στην αρχιτεκτονική αρχαίων πολιτισμών, σε πρόσφατα κτήρια ακόμη και στις πόλεις μακροσκοπικά. Η «fractal πόλη» συμπεριλαμβάνεται (σύμφωνα με τις πρόσφατες αστικές αναλύσεις), στο μοντέλο των χαοτικών πόλεων.

Μελετητές όπως ο Xavier Marsault προσπαθούν να εντοπίσουν και να απεικονίσουν την εσωτερική δομή των αστικών σχημάτων και μορφολογιών, χρησιμοποιώντας fractal ανάλυση $2D_{1/2}$ επιφανειών (τοπογραφική όψη συν ύψος) σε πραγματικούς είτε συνθετικούς χάρτες πόλεων. Η βασική ιδέα έγκειται στην ανίχνευση της αυτο-ομοιότητας, στην fractal κωδικοποίηση των περιοχών και την επεξεργασία τους με Συστήματα Επαναλαμβανόμενων Λειτουργιών (Iterated Function Systems ή IFS)⁷. Προσπαθούν μέσω αυτής της υπολογιστικής μεθόδου να αναγνώσουν τα αστικά μοντέλα με μια γενετικού τύπου προσέγγιση όπως λένε οι ίδιοι. Θεωρούν την προσέγγισή τους «γενετικού τύπου», διότι επιτρέπουν την παρεμβολή, την αλλοίωση και την συγχώνευση διαφόρων αστικών μοντέλων και έτσι οδηγούνται στην τοπική ή υπερτοπική σύνθεση νέων σχημάτων. Επίσης, χρησιμοποιούν εργαλεία 3D αναδόμησης και απεικόνισης για να μετατρέψουν τις επιφάνειες σε όγκους [Marsault X., 2008].

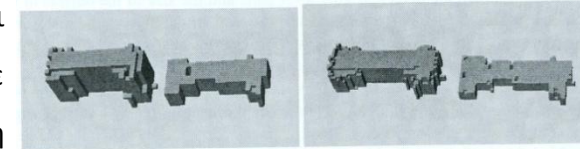


Εικόνα 86 Santa Croce (Florence, Italy)
ανάλυση για να βρεθεί το IFS από την
Nicoletta Sala,

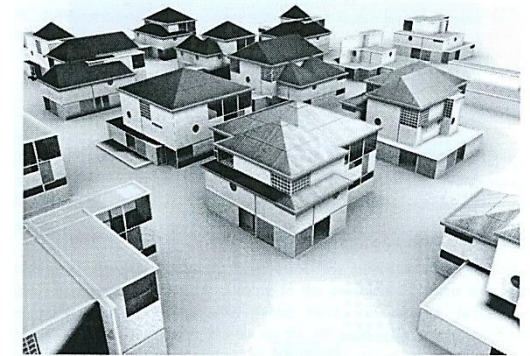
⁷ Η θεωρία του IFS βασίζεται πάνω στην ιδιότητα “scale change invariance” (SCI) και επιτρέπει την δημιουργία fractal αντικειμένων μέσω λειτουργιών-εξισώσεων συστολής (contractive functions), οι οποίες δείχνουν αυτή την ιδιότητα η οποία λέγεται Σύστημα Επαναλαμβανόμενων Λειτουργιών (IFS). Μελετήθηκε από τον Hutchinson μέσα στο πλαίσιο της αυτο-ομοιότητας και από τον Barnsley μέσα στο πλαίσιο της fractal γεωμετρίας. Αυτές οι μελέτες οδήγησαν στις εφαρμογές συμπίεσης εικόνας [Marsault X., 2008 ,p.148].

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για την ανάλυση των μοτίβων ολόκληρων πόλεων. Μία από αυτές είναι η δημιουργία τμημάτων ή και ολόκληρων πόλεων με την βοήθεια προσομοιωτών χωρικής ανάπτυξης ή με προσωρινούς προσομοιωτές βασισμένους πάνω σε ένα σενάριο (όπως για παράδειγμα η Sim City) ή ακόμη και μέσω στατικών σχημάτων. Πολλές τέτοιες αναλύσεις σχετίζονται με χώρους, υποχώρους και κατάτμηση (σχετίζονται με τον όρο «fractality»), κάποιοι χρησιμοποιούν «cellular automata» άλλοι DLA (diffusion limited by aggregation) και άλλα οργανικά μοντέλα εμπνευσμένα από φυσικούς νόμους. Ο Marsault στο άρθρο του αναλύει με τέτοια εργαλεία τις πόλεις St Genis και Venissieux (πόλεις που ανήκουν στα περίχωρα της Lyon). Θέτει το ερώτημα αν παρουσιάζεται αυτο-ομοιότητα στα αστικά μοτίβα. Στην πραγματικότητα πολλά κομμάτια πόλεων παρουσιάζουν τέτοια στοιχεία αλλά όχι πάντα συνολικά ή σε όλες τις κλίμακες. Με την ψηφιακή μέθοδο που χρησιμοποιεί φτιάχνει προσεγγίσεις δρόμων, δικτύων και κτηρίων τα οποία είναι fractal. Όπως αναφέρει ο ίδιος, αυτή η τεχνική (με θεωρητικά μη πραγματικά μοντέλα πόλεων δηλαδή) δεν μπορεί να παράξει αληθινά και ρεαλιστικά μοτίβα πόλεων, τα οποία είναι πιο ακανόνιστα και πολύπλοκα στην δομή τους, αλλά και όχι εντελώς αυτο-όμοια. Γι'αυτό εφάρμοσαν τις τεχνικές ανάλυσης (αλλά και παραγωγής) στις παραπάνω υπαρκτές πόλεις παίρνοντάς τις ως παράδειγμα για την δημιουργία νέων αστικών μοτίβων και δομών. Παραθέτουμε κάποια παραδείγματα από τις μελέτες αυτές Fractal εφαρμογές χρησιμοποιούνται και στο λεγόμενο «fractal zoom» ή η απλούστευση και η εξομάλυνση (smoothing) γεωμετρικών σχημάτων (τοπογραφικών, κατόψεων ή οποιασδήποτε εικόνας).

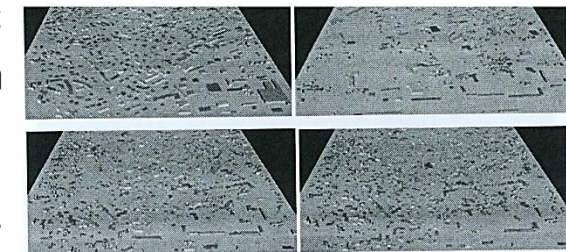
Βλέπουμε επίσης προσπάθειες κατανόησης των πόλεων σαν ζωντανούς πολύπλοκους οργανισμούς, οι οποίοι παρουσιάζουν εν δυνάμει fractal ιδιότητες. Οι φυσικοί και οι βιολόγοι ανακαλύπτουν συχνά



Εικόνα 88: Two versions of the same buildings, before and after 2x fractal zoom



Εικόνα 89: Applying and rendering tiles on random-generated rule-based 3D objects.



Εικόνα 87: Example of pavement-controlled fusion (down) on real cities (Saint Genis and Venissieux, up)

fractal διαδικασίες μέσα στην μορφογένεση της φύσης (όπως σε κρυσταλλικές δομές). Όπως είδαμε όμως, και οι ανθρώπινες δημιουργίες κυβερνώνται από fractal και εδώ και σχεδόν δύο δεκαετίες προσπαθούν την fractal μέτρηση και ανάλυση ανθρώπινων κατασκευασμάτων (όπως είδαμε με τα Μεσοαμερικανικά ευρήματα και τις αναλύσεις πόλεων) [Saleri Lunazzi R., 2008, p.161].

Οι προσομοιώσεις των δημιουργικών διαδικασιών της μορφής, μας απασχολούν εδώ και καιρό και έχουν γίνει δυνατές χάρις στα μαθηματικά και τα ισχυρά υπολογιστικά συστήματα με τα αντίστοιχα λογισμικά. Αναφερόμαστε στην δημιουργία αυτο-όμοιων γεωμετρικών μορφών, κατ' επέκταση κτηρίων, περιοχών, πόλεων. Αυτές οι διαδικασίες και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται, όπως για παράδειγμα τα «cellular automata», ακολουθούν κάποιους κανόνες, περιορισμούς και παραμέτρους. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι, ακόμα και αν οι κανόνες είναι πάρα πολύ απλοί, τα αποτελέσματα μπορεί να έχουν φοβερή πολυπλοκότητα και να είναι αρκετά απρόβλεπτα ή σχεδόν τυχαία. Παραθέτουμε κάποια παραδείγματα τυχαίων (ή ψευδοτυχαίων στην ουσία) γεννητριών απλών μοτίβων όταν εφαρμόζονται σε προσόψεις. Αυτά γίνονται αντίστοιχα και σε 3D αντικείμενα. Ακόμη, υπάρχουν και γεννήτριες πλήρωσης κελύφους («Hull-Filling Generators») που χρησιμοποιούνται για να μελετηθούν κυρίως μορφές κτηρίων παρά πόλεων. Στις πόλεις γίνεται η αντίστοιχη ψηφιακή αναπαράσταση με γεννήτρια μοτίβου πολλαπλής κλίμακας. Στο μέλλον τέτοιες εφαρμογές φιλοδοξούν να συνεισφέρουν σε αρχαιολογικά και ιστορικά ιδρύματα έχοντας τη δυνατότητα να δημιουργήσουν αξιόπιστα 3D περιβάλλοντα σε ένα δεδομένο ιστορικό πλαίσιο [Saleri Lunazzi R., 2008]

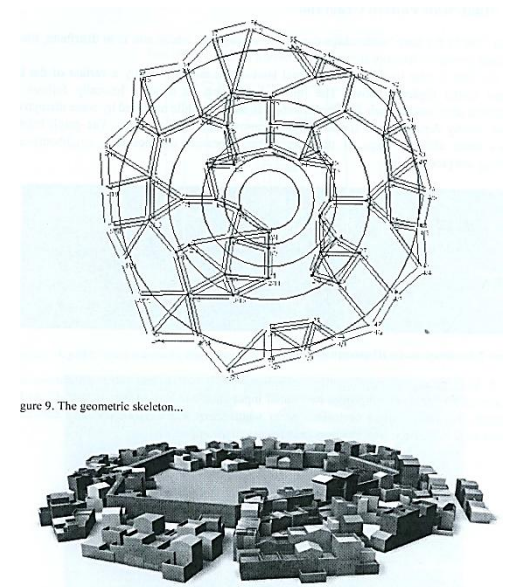


Figure 9. The geometric skeleton...

Εικόνα 90: Multi-Scale Pattern Generator, The geometric skeleton and its 3D expression.

Εκτός από τις πόλεις «fractal» βρίσκουμε και την κατηγορία των «dissipative» πόλεων (διασκορπισμένες, διαχεόμενες) η οποία θεωρείται ένας τύπος χαοτικής πόλης. Οι πόλεις αυτές είναι παράγωγα της θεωρίας του Prigogine πάνω στις «dissipative» μορφές. Ένας από τους θεμελιωτές της θεώρησης αυτών των πόλεων είναι ο Peter Allen, καθηγητής στο International Ecotechnology Research Centre Cranfield University, ο οποίος φτιάχνει μοντέλα στον υπολογιστή με τις υποδομές των τοπικοτήτων μιας περιοχής όπου τοποθετεί κατοίκους και επαγγέλματα στην καθεμιά. Ο καθένας μετακινείται μέσα σε αυτό το σύστημα ώστε να βρει δουλειά, η οποία εξαρτάται από την κατάσταση της αγοράς. Οικοδομείται κατά αυτό τον τρόπο ένα μοντέλο-σύστημα, στο οποίο η σχέση των οικονομικών δραστηριοτήτων με τις μετακινήσεις (για αυτές) δημιουργούν τοπικές «φέρουσες ικανότητες» στο σύστημα. Έτσι, στη συνέχεια αυτή η σύνδεση πληθυσμού και κατασκευαστικών-οικονομικών δραστηριοτήτων οδηγεί το σύστημα σε μη γραμμικότητες και σε βρόχους ανατροφοδότησης (feedback loops) [Abrams I., 2008]. Ο Peter Allen θεωρεί ότι η αλληλεπίδραση ανάμεσα στις διακυμάνσεις (fluctuations) και στην διασκόρπιση (dissipation) δημιουργεί και αναδύει ένα νέο τοπίο. Τέλος, ο ίδιος εφάρμοσε αυτό το μοντέλο στις Βρυξέλες.

Μελετώντας τις ιδέες του Ilya Prigogine στην αυτοοργάνωση, μπορεί να γίνει μια μεταφορά στα δεδομένα της πόλης και να διακρίνουμε κάποιες κατηγορίες. Έτσι, μιλάμε για πόλεις αυτοοργανωμένες ή «χαοτικές» [Abrams I., 2008]. Οι δύο μορφές αυτοοργάνωσης στην πόλη είναι η τοπική και παγκόσμια μακροσκοπική, και αντίστοιχα μιλάμε για το «μικροσκοπικό» χάος και το ντετερμινιστικό χάος. Η κίνηση των πεζών ή των αυτοκινήτων σε ένα δρόμο είναι παράδειγμα τοπικού χάους, μιας και αναφέρεται σε ξεχωριστές οντότητες της πόλης. Το ντετερμινιστικό χάος υπάρχει στις πόλεις, όταν οι ξεχωριστές αυτές



Εικόνα 91

οντότητες έλκονται από ελκυστές. Έτσι, η πόλη αμφιταλαντεύεται χαοτικά από τον ένα ελκυστή στον άλλο. Γνωστό παράδειγμα είναι οι αυτοκινητόδρομοι, όπου η κίνηση των αμαξιών είναι τυχαία μοιρασμένη τις νύχτες, ενώ είναι σχεδόν ομοιόμορφα κατανεμημένη στις ώρες αιχμής. Παρατηρείται δηλαδή μια μετατόπιση από το χάος στην τάξη και μετά πίσω πάλι στην τάξη. Αυτή η αλλαγή φαίνεται και στην καθημερινότητά μας και όχι μόνο μακροπρόθεσμα [Prigogine I., 1984].

Μπορούν να παρατηρηθούν τέτοιες αλλαγές μέσα σε κτήρια, όπου ανάλογα με την ώρα της ημέρας αλλά και με κάποιους τυχαίους παράγοντες, η τάξη και αταξία αλλάζουν. Για παράδειγμα, οι κινήσεις μέσα σε ένα μουσείο ή ξενοδοχείο είναι πολύ διαφορετικές όταν γίνεται μια εκδήλωση ή έκθεση, από όταν έχει πιάσει φωτιά το κτήριο ή αρχίζει να αστοχεί λόγω σεισμού. Οι ελκυστές είναι πολύ διαφορετικοί και έτσι καταλαβαίνουμε ότι όσο καλά και να σχεδιάζουμε, προδιαγράφουμε, προγραμματίζουμε τις κινήσεις ή την επικοινωνία μέσα σε ένα κτήριο πάντα υπάρχει μια «περιοχή» άγνωστη, μη προβλέψιμη και χαοτική. Η ασταμάτητη τάση για αύξηση της εντροπίας των συστημάτων είναι φανερή τόσο στην καθημερινή ζωή όσο και στα αρχιτεκτονικά δεδομένα. Για να διατηρηθεί κάτι ατόφιο και να κατασκευαστεί έτσι όπως κάποιιο το σκέφτονται και σχεδιάζουν, απαιτεί έργο το οποίο αντιτίθεται στις δυνάμεις της φύσης. Ειδικά στο πεδίο της συντήρησης κτηρίων, είτε υλικών, τα πράγματα είναι ολοφάνερα. Για παράδειγμα, σχεδόν όλες οι εικόνες στα αρχιτεκτονικά (κυρίως αλλά όχι μόνο) περιοδικά, όπου όλα παρουσιάζονται αψεγάδιαστα, φρέσκα, καινούργια και σε τέλεια κατάσταση, αποτελούν ψευδαίσθηση τάξης και ισορροπίας. Από την ζωή γνωρίζουμε ότι κάτι τέτοιο δεν ισχύει και οι δομές και τα συστήματα έχουν την τάση για διασκόρπιση και για μεγαλύτερους βαθμούς ελευθερίας [Crowley M., 2002]. Όσο πιο πολύπλοκο (μορφολογικά,



Εικόνα 93



Εικόνα 92: Entropy in materials, facades, ufohouses

κατασκευαστικά, προγραμματικά) είναι ένα κτήριο τόσο δυσκολότερο είναι να διατηρείται σε τάξη. Φανταστείτε την συντήρηση και τις εργατώρες που απαιτούνται για το Guggenheim στο Bilbao. Από το τυχαίο περπάτημα των πεζών σε έναν ανοιχτό χώρο μέχρι τα τυχαία απλωμένα μικροπράγματα και ρούχα σε ένα σπίτι, καταλαβαίνουμε αυτή την τάση για αύξηση της εντροπίας (δηλαδή του μέτρου αταξίας ενός συστήματος). Περισσότερο όμως την κατανοούμε όταν χρειάζεται σε ένα σύστημα να επαναφέρουμε την τάξη ή έστω να εμποδίσουμε την αύξηση της εντροπίας. Για παράδειγμα, όλοι μας έχουμε καθαρίσει ή τακτοποιήσει κάποιον άτακτο χώρο, ειδικά στα φοιτητικά μας χρόνια. Ο καλός προγραμματισμός μπορεί να ελαχιστοποιήσει το έργο που απαιτείται για την διατήρηση της τάξης του συστήματος, όπως κάνει για παράδειγμα ο σχεδιασμός συστημάτων διαχείρισης και κατάταξης βιβλίων σε μια βιβλιοθήκη.

Αναφερθήκαμε προηγουμένως στους δανεισμούς όρων επιστημονικών στο πεδίο της αρχιτεκτονικής και στην μετάφραση και παραλλαγή (ή όχι) αυτών των εννοιών. Οι έννοιες αυτές, από την θεωρία της πολυπλοκότητας που περνούν στην αρχιτεκτονική, μπορούν σύμφωνα με τον McAdams, να γίνουν το μέσο για να δούμε την πόλη με ένα ριζικά διαφορετικό τρόπο. Η βιωσιμότητα και αειφορία είναι από τις βασικές κατευθύνσεις ανάπτυξης του αστικού αλλά και παγκόσμιου περιβάλλοντος. «Θέματα όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, η οικονομική δικαιοσύνη και η σταθερότητα, η περιβαλλοντική ισορροπία και άλλα, είναι υποσύνολα της αειφορίας και έχουν αντιμετωπιστεί ανεπαρκώς από τον πολεοδομικό σχεδιασμό σήμερα» [McAdams M.A., 2008]. Ο αστικός και περιφερειακός σχεδιασμός θα αλλάξουν μορφή, αλλά χωρίς να πάψουν να υπάρχουν. Σήμερα ο πολεοδομικός (αστικός) σχεδιασμός ο οποίος βασίζεται κυρίως στον ορθολογισμό, την ουτοπία, το μοντερνισμό, την αφαίρεση και τον ελιτισμό, δεν είναι

κατάλληλος για να αντιμετωπίσει τις περίπλοκες πτυχές της βιωσιμότητας. Παραδοσιακά ο αστικός σχεδιασμός βασίζεται και αποτελείται από την συλλογή δεδομένων, τον καθορισμό στόχων, καθορισμό εναλλακτικών λύσεων-αντιμετωπίσεων, επιλογή των καλύτερων εναλλακτικών και παρακολούθησή τους. Έχουν γίνει προσπάθειες ώστε η διαδικασία αυτού του σχεδιασμού να γίνει πιο προσαρμοστική, όσον αφορά στην συμμετοχή των πολιτών και στην βιωσιμότητα. Εξακολουθεί όμως η διαδικασία αυτή να έχει σοβαρά μειονεκτήματα, λόγω της δεδομένης μοντερνιστικής και ρασιοναλιστικής αντιμετώπισης, ανεξάρτητα από το είδος αναθεώρησης και προσέγγισης. Βέβαια, όπως αναφέρει ο McAdams, υπάρχουν στοιχεία τα οποία όταν λαμβάνονται ξεχωριστά μπορεί παρόλα αυτά να έχουν νόημα και να ισχύουν. Για παράδειγμα, οι έρευνες για τις χρήσεις γης, οι δείκτες καταλληλότητας και τα σχέδια περιβαλλοντικής ζώνης προστασίας. Παρ' όλα αυτά, το γενικό πλαίσιο και η δομή είναι το βασικό εμπόδιο για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό σε ένα σύνθετο αστικό περιβάλλον. Η θεωρία της πολυπλοκότητας εξετάζει τις μη γραμμικές, αλλά ντετερμινιστικές διεργασίες και το αστικό περιβάλλον, περιέχει πολλές μη γραμμικές διαδικασίες, που όμως προέρχονται από οντότητες, οι οποίες δεν είναι τυχαίες, αλλά έχουν σκοπούς και χαρακτηριστικά. Ο ίδιος έχει ασχοληθεί με το πώς είναι δυνατόν το χάος και η θεωρία πολύπλοκων συστημάτων να ενσωματωθούν στην πρακτική του αστικού και περιφερειακού σχεδιασμού. Με την ανάλυση των αστικών φαινομένων που χρησιμοποιούν πολύπλοκες τεχνικές ανάλυσης του συστήματος, όπως η «fractal» ανάλυση και το «agent based modeling». Όπως λέει και ο McAdams, υπάρχει ένα χάσμα από τη θεωρία στην πράξη και βρισκόμαστε μόλις στην αρχή της διερεύνησης του θεωρητικού υπόβαθρου του αστικού σχεδιασμού [McAdams M.A., 2008]. Ο Michael Batty και η Patsy Healay έχουν αρχίσει να κλείνουν το κενό ανάμεσα στην θεωρία του χάους, στην ανάλυση του αστικού χώρου και στην πρακτική

σχεδιασμού. Ωστόσο, οι ιδέες τους είναι σχετικά καινούργιες και στην “περιφέρεια της γραμματείας του αστικού σχεδιασμού” όπως αναφέρει ο McAdams και δεν θα θεωρηθούν από τον κύριο κορμό των πολεοδόμων, ως οδηγοί στην πράξη του σχεδιασμού.

Στη συνέχεια ο McAdams θέτει το ερώτημα, πώς ακριβώς χρησιμοποιούμε αυτά τα αναλυτικά εργαλεία στη διαδικασία λήψης αποφάσεων στον αστικό και περιφερειακό σχεδιασμό; Στην πραγματικότητα ο χαοτικός σχεδιασμός και η αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της αστικοποίησης με διαισθητικό τρόπο, υπάρχει εδώ και πολύ καιρό, παρόλο που δεν έχει ποτέ ως τώρα αναγνωριστεί και χαρακτηριστεί ως τέτοια. Ο «στοιχειώδης σχεδιασμός» (incremental planning) και η μέθοδος «muddling through» είναι μόνο μερικές από τις τεχνικές που μπορούν ίσως να θεωρηθούν ως χαοτικός σχεδιασμός. Υπάρχει και ο στρατηγικός σχεδιασμός και αρκετές άλλες κατηγορίες και υποκατηγορίες, αλλά δεν υπάρχουν αρκετά παραδείγματα που να δείχνουν ότι θα αλλάξει η σημερινή κατάσταση του (πολεοδομικού, αστικού) σχεδιασμού. Ο McAdams στο άρθρο του, αναφέρει και επεξηγεί τους όρους που προκύπτουν από την θεωρία της πολυπλοκότητας και του χάους τους οποίους αποκαλεί «μεταφορές». Αυτές οι μεταφορές αποτελούν στην ουσία τον συνδεδετικό κρίκο για όλα τα άλλα πεδία τα οποία επηρεάζουν και αφορούν αυτές οι θεωρίες. Η θεωρία της πολυπλοκότητας και αυτές οι μεταφορές που αναφέρουμε, προέρχονται από την φυσική κυρίως και πολλές από αυτές βρίσκονται στα (ερευνητικά) έργα των Mandelbrot, Lorenz, Neumann, Bertalanffy και Langton. Οι όροι και οι έννοιες αυτές που προκύπτουν από τη φυσική και τα μαθηματικά μένουν στην πλειοψηφία τους στον επιστημονικό κόσμο και λίγες χρησιμοποιούνται στο ευρύ λεξιλόγιο, όπως για παράδειγμα το «φαινόμενο της πεταλούδας».

Οργανώνεται δηλαδή η γλώσσα των θεωριών αυτών η οποία περιέχει όρους όπως, «Agents», «Chaos», «Fractals», «Emergent States and Self-organization» και «Environment and Fitness Landscape» [McAdams M.A., 2008].

Οι παράγοντες ή πράκτορες (agents) είναι αντικείμενα, τα οποία μπορεί να είναι σε κίνηση ή όχι. Όταν αναφερόμαστε σε έμβιους «παράγοντες» αυτοί μπορεί να είναι πολιτικοί, πολεοδόμοι, προγραμματιστές, πολίτες, κυβερνητικά στελέχη, κλπ. Στην θεωρία της πολυπλοκότητας αυτοί οι παράγοντες περιγράφονται ως «μοριακοί» ή «διασυνδεδεμένοι». Η βάση του «agent-based modeling» είναι τα «cellular automata». Η λειτουργία τους είναι στην ουσία η αλλαγή ενός κελιού (κυψέλη, «cell») με την αλληλεπίδραση ενός ή παραπάνω γειτονικών κελιών. Τα «CA» λειτουργούν σε ένα σύνολο κανόνων οι οποίοι ρυθμίζουν την έναρξη των ενεργειών. Τα αποτελέσματα μπορεί έχουν πολλές μορφές, από χαστικές μέχρι μορφές που αναδεικνύουν τάξη [McAdams M.A., 2008].

Έγινε αυτή η παρένθεση για να αποσαφηνιστεί λίγο περισσότερο ο όρος των παραγόντων, διότι αναφέρονται συχνά στον αστικό και πολεοδομικό σχεδιασμό υπό το «νέο» πρίσμα που τα εξετάζουμε. Υπάρχουν οι λεγόμενοι «υπερ-παράγοντες» (super-agents) που έχουν περισσότερη επιρροή από άλλους παράγοντες.

«Τέτοιου είδους παράγοντες θα μπορούσαν να θεωρηθούν οι κυβερνητικοί αξιωματούχοι, οι πολιτικοί, οι μη κυβερνητικές οργανώσεις και άλλοι. Μια ειδική κατηγορία των super-agents είναι οι visionary agents (παράγοντες οραματιστές), οι οποίοι έχουν δραματική επίδραση στους υπόλοιπους

παράγοντες και το περιβάλλον τους. Παραδείγματα σύγχρονων οραματιστών παραγόντων είναι , ο Γκάντι, ο Μάρτιν Λούθερ Κινγκ, ο επίσκοπος Ντέσμοντ Τούτου, ο Δαλάι Λάμα, και ο Νέλσον Μαντέλα. Σε ένα πλαίσιο αστικού σχεδιασμού, οραματιστές παράγοντες θα μπορούσαν να θεωρηθούν οι Lewis Mumford, Patrick Geddes, και Jaime Lerner (τελευταία δήμαρχος της Κουριτίμπα Βραζιλία)...Αυτές οι μεταφορές δημιουργούν ένα νέο πλαίσιο για την πολεοδομία, για να λειτουργήσει. ...Έχει αλλάξει πραγματικά ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ο αστικός σχεδιασμός; Για εκείνους τους πολεοδόμους που έχουν, πιθανώς διαισθητικά ή από ενασχόληση με το θέμα, κατανοήσει τις έννοιες της πολυπλοκότητας, κατά πάσα πιθανότητα δεν έχει προκαλέσει κάποια διαφορά» [McAdams M.A., 2008].

Εξετάσαμε μέχρι τώρα την σχέση και την εφαρμογή της θεωρίας του χάους (αλλά και της πολυπλοκότητας γενικότερα) σε κοινωνικά συστήματα, σε αστικούς και πολεοδομικούς σχεδιασμούς. Αυτά τα πολύπλοκα συστήματα σχετίζονται όμως και μεταξύ τους και η αρχιτεκτονική είναι ένας από τους παράγοντες που τα «ενώνει» και τα χρησιμοποιεί. Ενδιαφέρον ίσως θα είχε να δούμε την αρχιτεκτονική σαν πολύπλοκο σύστημα, το οποίο σχετίζεται με πολλά άλλα τέτοια και έτσι οι σχέσεις γίνονται αρκετά απρόβλεπτες, χαοτικές θα μπορούσε κάποιος να πει. Έτσι, μιλάμε για το σύστημα (της αρχιτεκτονικής) το οποίο είναι απρόβλεπτο και χαοτικό, μιας και οι παράγοντες που το επηρεάζουν και το «λειτουργούν» είναι κι αυτοί πολύπλοκοι και παρουσιάζουν συχνά χαοτική συμπεριφορά. Μερικά παραδείγματα είναι η κίνηση στις αρτηρίες μιας πόλης, η ανάπτυξη μιας μεγαλούπολης, οι τιμές των υλικών και της εργασίας για την υλοποίηση ενός έργου.

Σαφή παραδείγματα πολυπλοκότητας και χάους βρίσκουμε κυρίως σε παλιότερες αρχιτεκτονικές, ενώ στις πρόσφατες υπάρχει μεγάλη διαμάχη για το ζήτημα και μάλλον θέλει περισσότερη διερεύνηση, ανάλυση και επιφύλαξη το θέμα. Έχει βρεθεί ότι οι συγγραφείς, οι γλύπτες, οι αρχιτέκτονες και γενικότερα οι καλλιτέχνες στους αρχαίους πολιτισμούς χρησιμοποιούσαν γεωμετρικά συστήματα. Τέτοια συστήματα κυρίως αποτελούνται βασικά από χρυσές τομές και χρυσά τρίγωνα, τα οποία τοποθετούνται πάνω στην χρυσή σπείρα. Αρχαιολόγοι, αρχιτέκτονες και μαθηματικοί αναλύουν αυτές τις σχέσεις που βρίσκουν είτε στα διακοσμητικά στοιχεία είτε στις ίδιες τις δομές των αρχαίων κτηρίων. Έτσι, όπως γνωρίζουμε, έχει αποκαλυφθεί η μεγάλη πολυπλοκότητα στα Μεσοαμερικάνικα αρχιτεκτονικά και καλλιτεχνικά έργα, όπως για παράδειγμα σε δισκία από το Palenque και άλλους αρχαιολογικούς χώρους, σε στήλες των Maya, σε ιερογλυφικά των Maya, στις πυραμίδες, σε παλάτια και ναούς, σε ημερολόγια, πέτρες αστρονομίας, σε τοιχογραφίες, κεραμικά αγγεία κ.α. Οι μελέτες που γίνονται δείχνουν την ύπαρξη μιας υψηλότερης «fractal» διάστασης η οποία βρίσκεται πίσω από πολλά έργα Μεσοαμερικανικής τέχνης και αρχιτεκτονικής [Burkle-Elizondo G. et al, 2007]

Όπως αναφέρει ο R.Venturi το '77, «Παντού, εκτός από την αρχιτεκτονική, η πολυπλοκότητα και η αντίφαση έχουν αναγνωριστεί, από την απόδειξη του K. Godel⁸ για την οριακή ασυνέπεια στα μαθηματικά μέχρι την ανάλυση του T.S. Eliot για την «δυσχερή» ποίηση και τον ορισμό του Joseph Albers για τον παράδοξο χαρακτήρα της ζωγραφικής.» [Venturi R., 1977, p.17] Η εμφάνιση πολυπλοκότητας (και Χάους ακόμα σε κάποιες περιπτώσεις) έχει πλέον αναγνωριστεί στην τέχνη, (όπως είδαμε με τους ζωγραφικούς

⁸ Με το γνωστό “θεώρημα της μη πληρότητας” που τράνταξε τα θεμέλια των μαθηματικών.

πίνακες του Modrian για παράδειγμα). Τα πράγματα στην αρχιτεκτονική, μπορούμε ίσως να πούμε ότι είναι ακόμα αρκετά ομιχλώδη και απαιτούν περαιτέρω έρευνα.

Σε κάποιες περιπτώσεις βλέπουμε ξεκάθαρα το πως εισχωρεί η τυχαιότητα στο σύστημα της αρχιτεκτονικής. Για παράδειγμα, το πασίγνωστο μουσείο-σύμβολο Guggenheim στο Bilbao του Frank Gehry μπόρεσε να επενδυθεί εξ' ολοκλήρου με φύλλα τιτανίου, λόγω μιας τυχαίας πτώσης της τιμής του τιτανίου σε μία αγορά του κόσμου. Οπότε, το συγκεκριμένο κτήριο ενδεχομένως να είχε ολοκληρωθεί αργότερα, διότι αρχικά οι τιμές του υλικού αυτού ήταν υπέρογκες. Ακόμη, ένα άλλο ίσως ενδεχόμενο θα ήταν να άλλαζε το υλικό επένδυσης. Η χαοτική συμπεριφορά του (οικονομικού) συστήματος της αγοράς επηρέασε την αρχιτεκτονική πράξη. Το συγκεκριμένο παράδειγμα περιέχει χαοτικές και απρόβλεπτες λειτουργίες και στην πόλη την ίδια, το «υπερσύστημα» στο οποίο δηλαδή ανήκει. Το κτήριο αυτό άλλαξε το πρόσωπο ολόκληρης της πόλης και αποτέλεσε το ίδιο έναν (παράξενο) ελκυστή από μόνο του, ελκυστή κυρίως οικονομικό. Επίσης, συνέβαλε στην οικονομική άνθιση της πόλης και στην ανάπτυξή της “έλκοντας” το ενδιαφέρον από άλλα μεγαλύτερα συστήματα, όπως της παγκόσμιας οικονομίας. Άραγε πόσα από αυτά είχαν προβλεφθεί και σχεδιαστεί και πόσα είναι τυχαίες επιπτώσεις ; Ακόμη, καταλαβαίνουμε καλύτερα στην πράξη την ευαίσθητη εξάρτηση (του αρχιτεκτονικού συστήματος) από τις αρχικές συνθήκες.

Τα δεδομένα και οι συντελεστές για την δημιουργία ενός κτηρίου είναι αχανή και έχουν πολλές φορές προεκτάσεις σε πολιτικά πρόσωπα, σε συγκεκριμένες περιόδους οικονομίας, σε κοινωνικές συγκυρίες ή ακόμη και σε περιβαλλοντικές συνθήκες και φαινόμενα. Όλα αυτά είναι από μόνα τους πολύπλοκα συστήματα, τα οποία παρομοίως εξαρτώνται το καθένα από τις δικές του ευαίσθητες αρχικές

συνθήκες και πολλά δρουν χαοτικά και απρόβλεπτα. Για παράδειγμα, ένας σεισμός ή μια οποιαδήποτε άλλη φυσική καταστροφή μπορεί να αλλάξει ολόκληρη την εικόνα μιας πόλης ή χώρας, πόσο μάλλον τα αρχιτεκτονικά τεκταινόμενα της περιοχής.

Η (επιστημονική) αντίληψη της πραγματικότητας έχει αλλάξει ανά τους αιώνες και η σχέση της με τις τέχνες και την αρχιτεκτονική είναι στενή. Έτσι, για παράδειγμα στο Μπαρόκ χρησιμοποιείτο η έλλειψη, η οποία εκείνη την περίοδο έγινε διάσημη και την συναντούσαμε στην φυσική, την αστρονομία, την μηχανική και τις τέχνες. Την περίοδο εκείνη πίστευαν ότι οι πλανήτες ταξιδεύουν πάνω σε τέλειες ελλειπτικές τροχιές και η κυρίαρχη επιστημονική άποψη, την εποχή εκείνη, μιλούσε για την απόλυτη σταθερότητα του ηλιακού συστήματος. Αυτοί οι νόμοι είναι γνωστοί ως νόμοι του Kepler, οι οποίοι γνωρίζουμε τώρα ότι δεν ισχύουν έτσι ακριβώς, αλλά οι τροχιές αργά ή γρήγορα γίνονται ασταθείς. Μπορούν να προβλεφθούν μονάχα για το κοντινό μέλλον μιας και έχουμε περιορισμένη γνώση των αρχικών συνθηκών. Αντιθέτως όμως, στην τέχνη και την αρχιτεκτονική δεν υπάρχει συγκεκριμένη φόρμα ώστε να γίνεται αντιληπτή η σειρά με την οποία σχεδιάστηκε η κάθε γραμμή και το κάθε μοτίβο. Έτσι, θεωρώντας την (αρχαία) τέχνη και αρχιτεκτονική ως πολύπλοκα συστήματα, οι μελετητές δεν έχουν τις απαραίτητες εξισώσεις ούτε τις χρονικές πληροφορίες για να τα χαρακτηρίσουν. Δηλαδή, η γεωμετρική ανάλυση και τα μαθηματικά τα οποία χρησιμοποιούνται έχουν ακόμα να καλύψουν απόσταση όσον αφορά στην αποσαφήνιση και κατανόηση της (αρχαίας) τέχνης και αρχιτεκτονικής.

Συμπεράσματα-επίλογος

Από την βιομιμητική μέχρι τα fractal και την πολυπλοκότητα, κατανοούμε ίσως λίγο καλύτερα την λειτουργία των συστημάτων και πώς αυτά επηρεάζουν τον χώρο. Εξετάστηκαν διάφορα είδη δανεισμών, μορφολογικοί, εννοιολογικοί, έννοιες μεταφερόμενες χωρίς την πλήρη επιστημονική τους σημασία κ.α. ισορροπώντας την καθαρά επιστημονική θεώρηση με το αρχιτεκτονικό ανάλογό της. Ο χώρος (άρα και η αρχιτεκτονική) υπόκειται σε πολλούς νόμους και επηρεάζεται πολύ από άλλα συστήματα, όπως είδαμε, τα οποία είναι πολύπλοκα και συχνά χαστικά. Οι ίδιες αυτές οι θεωρίες επηρεάζουν ή καλύτερα ερμηνεύουν, φαινόμενα τα οποία στη συνέχεια επηρεάζουν τον χώρο και την διαχείρισή του. Οι επιρροές αυτές παρουσιάζονται καθαρότερες στις μεγαλύτερες κλίμακες. Ακόμη, από την θεωρία της πολυπλοκότητας και του Χάους, μέσω της Φυσικής, καταλήγουμε στο ότι μπορούμε να βοηθηθούμε σε επίπεδο κατανόησης κυρίως, και να αναθεωρήσουμε το πώς βλέπουμε τις πόλεις και τον χώρο. Επίσης, μέσω των εφαρμογών και των παραγώγων τέτοιων πεδίων και θεωριών είδαμε ότι αποκτούνται και καινούργια ισχυρά εργαλεία για την δημιουργία και κατανόηση του χώρου. Τα πεδία αυτά είναι αρκετά πρόσφατα και χρειάζεται ίσως αρκετή διερεύνηση και επιφύλαξη για να ασχοληθεί κανείς. Τέλος, το Χάος και η εντροπία είδαμε ότι βρίσκονται παντού, στον κόσμο γύρω και μέσα μας, αλλά η τάξη αναδύεται, όπως λέει και ο Prigogine, μέσα από αυτό το οποίο μπορεί να έχει και δημιουργικό ρόλο. Η αρχιτεκτονική ίσως στέκει σε αυτό το απειροελάχιστο κομμάτι τάξης και ισορροπίας που στηρίζει την ίδια την ζωή και τον κόσμο όπως τον γνωρίζουμε.

Βιβλιογραφία

- Abrams, I. & Sardar, Z. [2008], *Introducing CHAOS*, a graphic guide, Λονδίνο: Icon Books
- Bovill, C. [1996], *Fractal Geometry in Architecture and Design*. Boston: Birkhauser
- Ghyka, M. [1977], *The Geometry of Art and Life*, Νέα Υόρκη: Dover publications
- Gleick, J. [1987], *Chaos: Making a New Science*, Νέα Υόρκη: Penguin
- Gleiniger, A. & Vrachliotis, G. [2008], *Complexity, Design Strategy and World View*, Γερμανία: Birkhauser
- Goldberger, A.L. [1996], *Fractals and the birth of Gothic: reflections on the biological basis of creativity*.
- Lynn, G. [1999], *Animate Form*. Νέα Υόρκη: Princeton Architectural Press.
- Mandelbrot, B.B. [1982], *The Fractal Geometry of Nature*, San Francisco, CA: Freeman
- Neder, F. [2008], *Fuller Houses*, R.Buckminster Fuller's Dymaxion Dwellings and Other Domestic Adventures, Baden, Switzerland: Lars Müller Publishers
- Pottman, H., [2007], *Architectural Geometry*, Bentley Institute Press
- Prigogine, I. [1980], *From Being To Becoming*. Freeman
- Prigogine, I., Stengers, I. [1984], *Order out of Chaos: Man's new dialogue with nature*. Flamingo.
- Ruelle, D.[1999], *Τύχη και Χάος*, δεύτερη έκδοση, εκδοτικός οίκος: Π.ΤΡΑΥΛΟΣ
- Sala, N. & Contributors [2007], *Chaos and Complexity in the Arts and Architecture*, Nova Science Publishers
- Thompson, D'Arcy [1992], *On Growth and Form*, Canto Edition, Νέα Υόρκη: Cambridge University Press

Ηλεκτρικές

- http://www.labyrinthbuilders.co.uk/about_labyrinths/history.html
- άρθρο από http://goliath.ecnext.com/coms2/gi_0199-3540226/A-labyrinth-of-symbols-exploring.html
- http://www.oasys-software.com/information/case_studies/water_cube.shtml
- www.cpedia.com
-

Άρθρα σε περιοδικά

- Cameron, L. & Larsen-Freeman, D. [2007] “Complex Systems and Applied Linguistics”, *International Journal of Applied Linguistics*, 17 (2)
- Goguen, J.A. [1969], “The logic of inexact concepts”, *Synthese* 19(3/4):325–373
- Jencks, C. [1997], “Nonlinear Architecture. New Science = New Architecture?”, *Architectural Design*, 129
- Ιωάννου, Ε. [2010], “Φουλερένια: τέχνη και επιστήμη” και “Η ανακάλυψη των φουλερενίων”, *ΧΗΜΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ*, 4, pp. 8-9

Άρθρα σε βιβλία

- Bellut, C. [2008], “THE GORDIAN KNOT OF COMPLEXITY”, στο Gleiniger Andrea & Vrachliotis Georg (επιμ.) *Complexity, Design Strategy and World*, pp.109-115, Γερμανία: Birkhauser
- Burkle-Elizondo G., Valdez-Cepeda R.D., Sala N. [2007], “COMPLEXITY IN THE MESOAMERICAN ARTISTIC AND ARCHITECTURAL WORKS”, στο Nicoletta Sala (επιμ.) *Chaos and Complexity in the Arts and Architecture* pp. 119-128, Nova Science Publishers
- Gleiniger, A. [2008], “THE DIFFICULT WHOLE, OR THE (RE)DISCOVERY OF COMPLEXITY IN ARCHITECTURE”, στο Gleiniger Andrea & Vrachliotis Georg (επιμ.) *Complexity, Design Strategy and World*, pp.37-57, Γερμανία: Birkhauser
- Kappraff, J. [2007], “COMPLEXITY AND CHAOS THEORY IN ART”, στο Nicoletta Sala (επιμ.) *Chaos and Complexity in the Arts and Architecture* pp. 3-24, Nova Science Publishers
- Lalvani, H. [1997], “Visual Morphology of Space Labyrinths: A Source for Architecture and Design”, στο J. Francois Gabriel (επιμ.) *Beyond the Cube: The Architecture of Space Frames and Polyhedra*, p. 410, John Wiley & Sons
- Marsault, X. [2008], “GENERATION OF TEXTURES AND GEOMETRIC PSEUDO-URBAN MODELS WITH THE AID OF IFS”, στο Nicoletta Sala (επιμ.) *Chaos and Complexity in the Arts and Architecture* pp. 147-160, Nova Science Publishers
- Saleri Lunazzi, R. [2008], “PSEUDO-URBAN AUTOMATIC PATTERN GENERATION”, στο Nicoletta Sala (επιμ.) *Chaos and Complexity in the Arts and Architecture* pp. 161-169, Nova Science Publishers
- Salingaros, N.A. [2008], “New Paradigm Architecture”, στο Nicoletta Sala (επιμ.) *Chaos and Complexity in the Arts and Architecture* pp. 129-133, Nova Science Publishers
- Terzidis, K. [2008], “ALGORITHMIC COMPLEXITY: OUT OF NOWHERE”, στο Gleiniger Andrea & Vrachliotis Georg (επιμ.) *Complexity, Design Strategy and World*, pp.75-86, Γερμανία: Birkhauser
- Vrachliotis, G. [2008], “POPPER’S MOSQUITO SWARM: ARCHITECTURE, CYBERNETICS, AND THE OPERATIONALIZATION OF COMPLEXITY”, στο Gleiniger Andrea & Vrachliotis Georg (επιμ.) *Complexity, Design Strategy and World*, pp.59-72, Γερμανία: Birkhauser

Διάφορα

- Crowley, M. [2002], *Complexity in Organizations*, Schumacher College, Holistic Science MSc
- Joye, Y. [2007], "Fractal Architecture Could Be Good for
- Lynn, G. [2008], *Interdacing Realities: Lecture by Greg Lynn*, lecture in TED, calculus in architecture(script from video)
- McAdams, M.A. [2008], *Complexity Theory and Urban Planning*, Geography Department, Fatih University, www.tamuk.edu/geo/urbana/spring2008/mcadams.pdf
- Plato, Timaios, [1903], ed: John Burnet
- Y.K.Lee & Kelvin Hoon [1995], *Brownian Motion*, στο "Surprise 95", vol4 http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_95/journal/vol4/ykl/report.html
You'', στο *NEXUS NETWORK JOURNAL* – vol. 9, No. 2