

Sistemi semplici – Capacità complesse. Processi integrativi di morfogenesi computazionale in architettura

Achim Menges, Institute for Computational Design, University of Stuttgart, D
achim.menges@icd.uni-stuttgart.de

SAGGI/ESSAYS

Abstract. La complessità del contesto culturale, sociale, economico e in particolar modo ecologico in cui l'architettura è praticata oggi, necessita di strategie e tattiche di progetto che raggiungano un alto livello di integrazione tra criteri e richieste apparentemente opposti all'interno dei sistemi materiale e costruttivo che noi progettiamo. Una possibilità per la fioritura di nuove sinergie in condizioni così estreme, è usare la capacità dei computer nel processo di progettazione in un modo alternativo, un modo che porti in primo piano e dia strumentazione all'innata capacità dei materiali, dei prodotti e del processo di costruzione, più che elaborare semplicemente forme in ambito digitale. L'approccio computazionale che è presentato in questo articolo interroga sulla natura dei correnti processi di progettazione, ma non è un invito a rimpiazzare l'architetto con il progetto guidato dal computer. Piuttosto, sotto questo aspetto, gli architetti, invece di creare forme esuberanti e successivamente razionalizzarle per la costruibilità e le funzioni sovrapposte, sono in grado di definire materiali specifici e sistemi costruttivi secondo le logiche combinate di formazione e materializzazione racchiuse nei processi generativi della morfogenesi computazionale.

Parole chiave. Processo di progettazione, Approccio computazionale, Morfogenesi computazionale, Materiali e sistemi costruttivi

Progetto Integrato Computazionale

Ricorrere ai computer nella progettazione architettonica non è affatto un fenomeno recente. Sin dagli anni 60, gli strumenti e le tecniche di progettazione computazionali sono stati studiati ed esplorati, ma solo con l'avvento dei personal computer in tandem con lo sviluppo di applicazioni di progettazione assistita più generalmente disponibili, negli anni Ottanta, l'uso di computer ha avuto un impatto fondamentale sulla pratica architettonica e sulla ricerca (Howard, 1998). La capacità di creare e controllare geometrie più complesse, in particolare in combinazione con strumenti computazionali per l'analisi strutturale e sistemi CAM (procedure computerizzate di produzione) per l'attuale processo di produzione, ha portato ad una nuova generazione di edifici e a proposte che sono comunemente conosciute come architettura digitale (Liu e Lim, 2009).

Tuttavia, ci sono differenze sostanziali nel modo in cui, il potenziale di utilizzo del computer per la progettazione architettonica è stato impiegato (Mark, Gross, Goldschmidt, 2008). Mentre la maggior parte dei progetti traggono profitto dalle ricerche che possono elaborare il

Simple Systems –
Complex Capacities.
Integrative Processes
of Computational
Morphogenesis
in Architecture

Abstract. The complexity of the cultural, social, economical and particularly ecological context in which architecture is practised today necessitates design strategies and tactics that achieve a high level of integration of seemingly opposed demands and criteria within the material and construction systems we design. One possibility of unfolding novel synergies in such extreme conditions is to utilize the capacity of computers in the design process in an alternative way, one that foregrounds and instrumentalizes the innate capacities of materials, manufacturing and construction processes rather than merely elaborating form in the digital realm. The computational approach that will be presented here questions the nature of current design processes, but it is not a call for the replacement of the architect by computer driven design. Rather, under this approach, architects, instead of creating exuberant shapes subsequently rationalised for constructability and superimposed functions, are able to define specific material and construction systems by the combined logics of formation and materialisation encoded in generative processes of computational morphogenesis.

Key words. Design process, Computational approach, Computational Morphogenesis, Material and construction systems

Integrative Design Computation

Employing computers in architectural design is not at all a recent phenomenon. Since the 1960s computational design tools and techniques have been investigated and explored but only through the advent of personal computers in tandem with the development of more generally available computer aided design applications in the 1980s the use of computers has had a fundamental impact on architectural practice and research (Howard, 1998). The ability to create and control more

repertorio formale dell'architettura, ma sono essenzialmente estensioni di metodi e processi progettuali ben noti e convenzionali, altri mirano a strumentalizzare il calcolo per esplorare nuovi approcci al processo di progettazione architettonica (Burry, 2011). Al fine di identificare e sviluppare questi approcci progettuali computazionali, del tutto esplorativi, appare necessario prima restituire una panoramica delle attuali metodologie, degli strumenti e delle tecniche nella cosiddetta architettura digitale. Mentre ci sono varianti interconnesse e eterogenee è ancora possibile riconoscere tre principali categorie di progettazione architettonica assistita dal computer. Questi approcci possono essere classificati come segue: definizione digitale della forma, ricerca computerizzata della forma e generazione computazionale della forma (Menges, 2010).

La maggior parte dei pacchetti software usati oggi nella pratica architettonica sono applicazioni per la definizione della forma. A seguito della separazione tra i processi progettuali e attuativi, espressa dalla distinzione tra artigiano o costruttore e architetto, le tecniche di rappresentazione sono state impiegate dai progettisti come un mezzo di progettazione, rappresentazione e istruzione per la costruzione. Attraverso l'elaborato architettonico o il disegno, la geometria esatta dell'edificio in tutte le sue parti è definita con precisione secondo un particolare formato di scrittura.

Questo può essere compreso, facendo riferimento ai più comuni pacchetti software CAD che si limitano ad informatizzare il precedente analogo processo di disegno o di modellazione in un'applicazione digitale (Terzidis, 2006). Si può rivendicare un vantaggio in termini di velocità, trasferibilità e precisione del processo di lavoro e un ampliamento del repertorio formale, il più delle volte attraverso superfici curvilinee e forme biomorfe, ma su un piano dei fondamenti queste applicazioni sono l'estensione digitale di approcci progettuali da tempo affermati (Menges, 2008). Con una forte enfasi sul carattere figurativo delle tecniche utilizzate, questi pacchetti software si limitano alla definizione di elementi tettonici attraverso una geometria esplicita e dimensioni metriche.

Essi possono solo assegnare, ma non integrare le proprietà e le logiche dei materiali, della struttura e della forma da costruire. In un gran numero di progetti realizzati, questa incoerenza tra la definizione della forma digitale e la realtà materiale degli edifici, ha purtroppo portato a problemi qualitativi e è stata all'origine di delusioni. Per tanto, la relazione tra edifici

complex geometries, particularly in combination with computational tools for structural and environmental analysis and computer aided manufacturing for the actual fabrication process, has led to a new generation of buildings and proposals that are commonly referred to as digital architecture (Liu and Lim, 2009). However there are essential differences in the way the potential of using the computer for architectural design has been employed (Mark, Gross, Goldschmidt, 2008). While a majority of projects thrive on explorations that may elaborate the formal repertoire of architecture but are essentially extensions of well known and established design methods and processes, others aim at instrumentalizing computation to explore novel approaches to the process of architectural design itself (Burry, 2011). In order to identify and develop such truly explorative computational design

approaches it first seems necessary to gain an overview of current methodologies, tools and techniques in so called digital architecture. While there are interlinked and mixed variants it is still possible to recognize three main categories of current computer based architectural design. These approaches can be classified as: digital form definition, computerized form finding and computational form generation (Menges, 2010). Most software packages utilized in architectural practice today are applications for form definition. Since the separation of processes of making from processes of designing, expressed in the distinction between craftsman or builder and architect, representational techniques have been employed by designers as a means of planning, visualisation and instruction for construction. Through the architectural plan or drawing the exact geometry of the building and all its

biomorfi e l'affascinante mondo della natura vivente e non vivente, resta su un piano meramente formale. Piuttosto che aggiungere ancora un altro stile alla storia dell'architettura, il processo di progettazione assistito dal computer, permette di affrontare in modo innovativo i principi di funzionalità di livello superiore e di integrazione nella natura e suggerisce nuove modalità di progettazione attraverso un insieme esteso di tecniche informatiche e tecnologie (Hensel e Menges, 2008).

Nei metodi di ricerca computerizzata della forma, la discrepanza tra forma digitale e comportamento fisico è superata dalla simulazione delle caratteristiche dei materiali sotto l'influenza di forze esterne. Procedure matematiche iterative sono utilizzate per informatizzare i cosiddetti processi di ricerca della forma. La ricerca della forma fisica, come introdotta da Frei Otto e altri, è una tecnica di progettazione che utilizza l'auto-organizzazione dei sistemi materiali sotto l'influenza di forze esterne (Otto e Rasch, 1996). Queste forze sono correlate con il materiale e la forma, in quanto la forma di una struttura può essere ricondotta allo stato di equilibrio delle resistenze interne e delle forze esterne. Tali processi di ricerca della forma, ad esempio per strutture a membrana, erano generalmente, fisicamente modellati in modo da 'calcolare fisicamente' la forma (Lewis, 2003). Oggi, esistono numerosi algoritmi per simulare il comportamento fisico (Moncrieff, 2005). Tuttavia, a causa del fatto che la maggior parte delle variabili della progettazione hanno bisogno di essere definite all'inizio dei processi di ricerca computerizzata della forma, questi ultimi assumono un carattere analitico, piuttosto che uno di processo progettuale generativo.

Al di là delle caratteristiche di rappresentazione e delle capacità analitiche spiegate nei precedenti paragrafi, i processi di progettazione basati sul computer offrono opportunità molto più sinergiche per l'integrazione dei processi di formazione e materializzazione (Menges, 2008). La logica alla base dell'approccio computazionale suggerisce fortemente tale alternativa, in cui il rigore della modellazione computazionale potrebbe essere impiegato per integrare vincoli di produzione, logiche di montaggio e caratteristiche dei materiali nella definizione dei materiali e sistemi costruttivi. Questo può essere combinato con approcci computazionali di comprensione del comportamento di tale sistema e utilizzando quindi questa comprensione per elaborare strategie di risposta del sistema alle condizioni ambientali e alle forze esterne. Tali processi integrali della generazione della forma possono essere indicati come morfogenesi computazionale (Menges, 2007).

parts is precisely defined in a particular notational format. This can be understood in direct relation to most common CAD software packages which merely computerize the previously analogue process of drawing or modelling in a digital application (Terzidis, 2006). One may claim an advantage in regards to speed, transferability and precision of the working process and an expansion of the formal repertoire most often through curvilinear surfaces and biomorphic shapes but on a fundamental level these applications are digital extension of long established design approaches (Menges, 2008). With a strong emphasis on the representational character of the techniques used these software packages are limited to defining tectonic elements through explicit geometry and metric dimensions. They can only assign but not integrate the properties and logics of material, structure and form to be

constructed. In an abundance of actually built projects this inconsistency between digital form definition and the material reality of building has unfortunately lead to qualitative problems and disappointment. As such, the relation between biomorphic buildings and the fascinating world of living and non living nature remains to be on a merely formal level. But rather than just adding yet another style to architectural history computer based design process enable us to engage in a much more fundamental way with the principles of higher level functionality and integration in nature and suggest new modes of designing through an expanded set of computational techniques and technologies (Hensel and Menges, 2008). In computerized form finding methods the discrepancy between digital form and physical behaviour is overcome by the simulation of material characteristics

Morfogenesi computazionale

La morfogenesi naturale, processo di sviluppo e di crescita evolutiva, ricava sistemi polimorfi che ottengono la loro complessa organizzazione e forma dall'interazione di capacità materiali intrinseche al sistema e influenze e forze ambientali esterne. Le strutture risultanti complesse e altamente funzionali sono organizzate gerarchicamente attraverso serie successive di sottoinsiemi distribuiti e differenziati dai quali emergono le capacità performative (o prestazionali) del sistema (Mueller e Newmann, 2003). Un aspetto sorprendente della morfogenesi naturale è che i processi di formazione e materializzazione sono sempre intrinsecamente e inscindibilmente legati. Questi processi di sviluppo integrale della forma materiale sono in netto contrasto con gli attuali processi di progettazione. Come spiegato in precedenza, l'architettura contemporanea in quanto pratica materiale si basa principalmente su approcci di progettazione che sono caratterizzati da una relazione gerarchica che privilegia la definizione della forma sulla sua successiva materializzazione.

L'intuizione che la forma in natura è sempre il prodotto della interrelazione di materiale, forma, struttura e ambiente, è di fondamentale importanza per l'approccio alla progettazione e alla ricerca computazionale qui presentato, in quanto questo è ciò che la distingue da approcci *computer based* (Menges, 2006). Il concetto di sistemi materiali e il loro sviluppo gioca un ruolo centrale in ciò. Il sistema materiale si riferisce all'assemblaggio (messa insieme) di delimitazioni spaziali, carichi portati e di conduzione di energia, rispettivamente elementi di accumulo, che derivano dalle specifiche proprietà dei materiali e dei processi produttivi utilizzati.

Il set di dati a fondamento del relativo sistema materiale, risulta dalla cattura delle dipendenze reciproche di diverse proprietà inerenti il sistema. Queste complesse relazioni, che risultano dalla materialità stessa e dalle sue proprietà fisiche, i vincoli e le logiche dei processi produttivi e di assemblaggio, costituiscono l'insieme di informazioni di base. Le caratteristiche di materializzazione sono quindi parte dei caratteri genotipici per la *computer-based generation* [creazione basata sul computer] del sistema. Poiché tutte queste caratteristiche e le regole hanno una specifica larghezza di banda a diverse variabili, all'interno del quadro di questa definizione vi è ampio spazio per lo sviluppo dei più diversi fenotipi, derivanti dall'interazione con

under the influence of external forces. Iterative mathematical procedures are used to computerize so called form finding processes. Physical form-finding, as pioneered by Frei Otto and others, is a design technique that utilises the self-organisation of material systems under the influence of extrinsic forces (Otto and Rasch, 1996). These forces are correlated with the material and form, in that the form of a structure can be found as the state of equilibrium of internal resistances and external forces. Such form-finding processes, for example for membrane structures, were usually physically modelled in order to 'physically compute' form (Lewis, 2003). Today, numerous algorithms exist to simulate the physical behaviour (Moncrieff, 2005). However, due to the fact that most design variables need to be defined on the onset in computerized form finding processes they are more

of an analytical character rather than a generative design process. Beyond the representational characteristics and analytical capacities explained in the previous paragraphs computer based design processes offer alternative, far more synergistic opportunities for integrating formation and materialisation processes (Menges, 2008). The underlying logic of computation strongly suggests such an alternative, in which the rigour of computational modelling could be deployed to integrate manufacturing constraints, assembly logics and material characteristics in the definition of material and construction systems. This can then be combined with computational approaches of understanding the behaviour of such a system and then uses this understanding to strategise the system's response to environmental conditions and

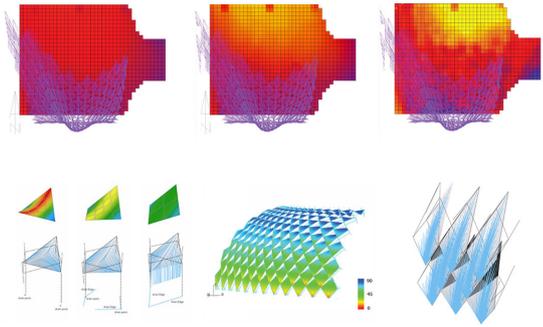
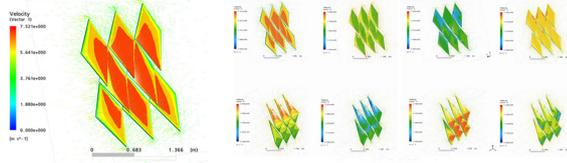
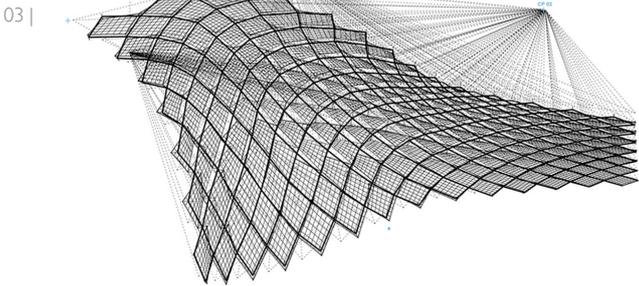
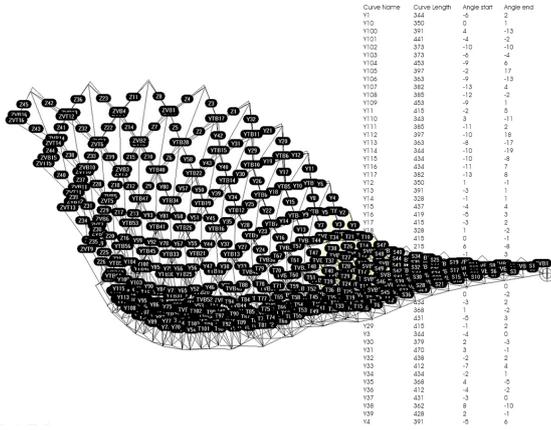
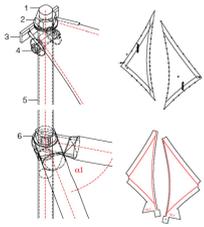
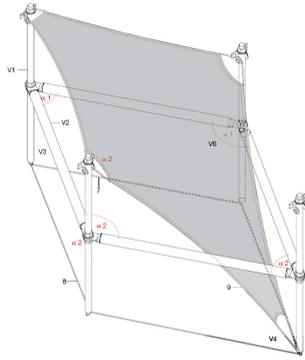
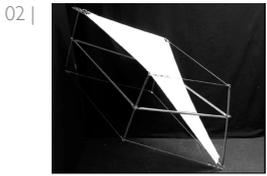


external forces. Such integral processes of form generation can be referred to as computational morphogenesis (Menges, 2007).

Computational Morphogenesis

Natural morphogenesis, the process of evolutionary development and growth, derives polymorphic systems that obtain their complex organisation and shape from the interaction of system intrinsic material capacities and external environmental influences and forces. The resulting complex and highly functional structures are hierarchical arrangements organized through successive series of propagated and differentiated sub-assemblies from which the system's performative abilities emerge (Mueller and Newmann, 2003). One striking aspect of natural morphogenesis is that formation and materialisation processes are always inherently and inseparably related. These

integral development processes of material form are in stark contrast to current design processes. As explained above contemporary architecture as a material practice is mainly based on design approaches that are characterised by a hierarchical relationship that prioritises the definition of form over its subsequent materialisation. The insight that form in nature is always developed out of the interrelationship of material, form, structure and environment is of eminent importance for the design- and research-approach of Computational Design presented here, as this is what separates it from purely computer-based approaches (Menges, 2006). The concept of material systems and their development plays a central role in this. Material system refers to the assemblies of space-defining, load-bearing and energy-conducting, respectively -storing elements, which arise from the specific



influenze esterne e la riconciliazione costante con criteri spaziali e prestazionali.

Il processo di aumento della diversificazione strutturale degli elementi e sub-elementi di un sistema materiale che viene creato dalle interrelazioni con le influenze esterne e le richieste, è denominato differenziazione. Questo è di importanza decisiva per l'approccio progettuale qui presentato, per due motivi. In primo luogo, la differenziazione è raggiunta solo attraverso la capacità intrinseca della progettazione computazionale di esaminare l'informazione e la forma separatamente, perché solo questo permette di avere a che fare con sistemi definiti attraverso il loro grado di variabilità all'interno dei confini propri del sistema e non attraverso la loro specifica forma o aspetto.

La forma in divenire nell'approccio progettuale e di ricerca qui presentato, è quindi sempre basata sulle possibilità e sui vincoli della effettiva materializzazione, in quanto le sue proprietà e la portata della fluttuazione delle sue variabili sono integrate nei processi di calcolo generativo.

In secondo luogo, le più eterogenee influenze esterne al sistema tendono a portare ad un sistema globale composto da sempre più differenziati adattamenti locali. In altre parole, la (ri)definizione continua del sistema e del processo, le variabili attraverso valori precisi o la fissazione della ponderazione di determinati parametri, nel quadro generico, porta ad una istanza specifica del sistema.

Il campo delle possibilità che si aprono, è così multiforme e complesso. Pertanto la determinazione delle variabili di sistema non è finalizzata ad un obiettivo, anche perché l'obiettivo, nella maggior parte dei casi non può essere definito a priori. Piuttosto il processo di progressiva differenziazione è una ricerca stocastica, paragonabile ai principi dell'evoluzione naturale (Hemberg, Menges, O'Reilly, 2004). Generazioni di sistemi materiali individuali sono generati in questo modo. L'interdipendenza con le influenze ambientali pertinenti e le sollecitazioni risultanti dallo specifico make-up di ogni fenotipo è poi analizzata e valutata. L'interazione risultante tra la disposizione materiale del sistema e il suo contesto (macro-) ambientale gioca un ruolo importante in questo, perché porta anche ai cambiamenti nei (micro-) eventi dentro e oltre i confini del sistema. Dopo ciò, sulla base dei criteri di valutazione, si mette in atto la selezione

01, 02, 03 |
 AA Membrane Canopy 2007
 Emergent Technologies and Design
 Programme (M. Hensel, A. Menges, M.
 Weinstock)
 Architectural Association School of
 Architecture

dei sistemi più efficaci, le cui informazioni, rispettivamente, il cui incrocio, rappresentano la base per la prossima generazione di sistemi materiali individuali.

È importante notare che anche cambiamenti spontanei dell'insieme di informazioni possono manifestarsi, ovvero le cosiddette mutazioni, per cui l'evoluzione del sistema rappresenta essenzialmente un sistema aperto. Nel corso di questo processo evolutivo, aumentando la specificità della modulazione dello spazio locale, il carico, il clima, la luce, il suono, ecc. caratterizzano la capacità performativa del sistema materiale di risulta.

**Simplexity
(Simplicity/
Complexity) in
architettura**

L'approccio di ricerca e progettuale qui presentato brevemente, si basa essenzialmente sul trattare l'interazione sopra descritta con influenze esterne, quindi la performatività, e la conseguente modulazione insieme come caratteristiche integranti dei sistemi materiali che non possono essere considerate isolatamente. L'interazione della disposizione materiale con lo specifico (macro-) ambiente di spazio, il carico, il clima, la luce, il suono, ecc. in cui è incorporato, causano cambiamenti locali dei (micro-) eventi dentro e oltre i confini del sistema .

La modulazione dell'ambiente è considerata tra gli effetti performativi del sistema materiale. Ciò significa che aspetti parziali dei sistemi costruttivi che sono attualmente considerati isolatamente all'interno delle metodologie progettuali, come la tecnologia strutturale, la fisica tecnica delle costruzioni, o i criteri di organizzazione dello spazio, diventano parte di un processo generativo di integrazione che include direttamente le complesse interrelazioni tra sistema materiale e capacità performativa. La complessità di queste interrelazioni richiede che si sposti l'attenzione dalla forma singola al riconoscimento di modelli, che iniziano ad emergere durante il processo di crescente differenziazione del sistema - nello spazio e nel tempo. Così la progettazione computazionale sfrutta il potenziale del computer per bilanciare molteplici fattori influenti, eseguire più processi e affrontare relazioni complesse e rende così possibile riconoscere i modelli di tale natura diversa durante il processo di progettazione e esplorarli in modo da sfruttare la capacità performativa che deriva dalla integrazione di forma in divenire e materiale in divenire, in modo nuovo.

properties of the materials and production processes used. The dataset underlying the respective material system results from the capturing of the reciprocal dependencies of different system-inherent properties. These complex relationships, which result from the very materiality and its physical properties, the constraints and the logic of production and assembly processes, thus constitute the basic set of information. The characteristics of materialization are therefore part of the genotypical features for the computer-based generation of the system. As all of these features and rules have a specific bandwidth to different variables, inside the framework of this definition there is considerable space for developing the most diverse phenotypes, arising from the interaction with external influences and the constant reconciliation with spatial and performative criteria. The process of increasing structural

diversification of the elements and sub-elements of a material system that is created by the interrelations with external influences and demands is referred to as differentiation. This is of decisive importance for the design-approach presented here, for two reasons. For one the differentiation is only reached by means of Computational Design's inherent capability to look at information and form separately, as only this allows one to deal with systems that are defined through their degree of variability within the system-inherent confines and not through their specific shape or form. The becoming form in the hereby presented design- and research-approach is thus always based in the possibilities and constraints of the actual materialization, as its properties and the scope of fluctuation of its variables are embedded into the computational generative processes.

Secondly the mostly heterogeneous, system-external influences tend to lead to an overall system made up of increasingly differentiated local adaptations. In other words the continuing (re)definition of system and process-variables through precise values or the fixing of the weighting of certain parameters within the generic framework leads to a specific instantiation of the system. The field of possibilities thereby opening up is multifaceted and complex. Therefore the fixing of the system variables is not goal oriented, also because the goal in most cases cannot be defined a priori. Rather the process of progressive differentiation is a stochastic search, comparable to the principles of natural evolution (Hemberg, Menges, O'Reilly, 2004). Generations of individual material systems are being generated this way. The interdependency with the relevant environmental influences and forces

La differenziazione derivante dal processo evolutivo *computer-based*, è ancora un'altra conseguenza importante. Determinate caratteristiche, sviluppatasi durante la differenziazione dei singoli sistemi materiali sulla base di specifici requisiti, possono risultare di possedere doti performative estranee ai criteri iniziali. Questa integrazione performativa è molto diversa dall'approccio di ottimizzazione funzionale di sottosistemi separati che è ancora comune in architettura e nelle scienze ingegneristiche oggi. In contrasto con ciò, l'approccio qui descritto può essere inteso come un sistema dinamico gradiente, che non ha bisogno di essere funzionalmente suddiviso in sottosistemi, ma che può coprire una vasta gamma di criteri performativi con un piccolo insieme di livelli di sistema.

L'approccio di ricerca e progettuale qui presentato non è quindi basato sulla ottimizzazione degli aspetti specifici, ma sull'integrazione in divenire, di una moltitudine di criteri all'interno di un unico sistema. Questo porta ad una ridondanza funzionale rispetto ad alcune singole caratteristiche, ma rende l'intero sistema molto robusto. Questo tipo di robustezza generale è un altro significativo risultato dei criteri evolutivi. Tenendo presente che ogni progetto architettonico è sempre un intervento in un futuro di fatto sconosciuto, il concetto di robustezza come proprietà di base dei sistemi evoluti in architettura può assumere implicazioni molto più ampie. La differenziazione, eterogeneità e la robustezza diventano componenti di sostenibilità sociale, economica ed ecologica.

I sistemi materiali complessi che nascono dalla reciprocità sono fondamentalmente diversi dalle complicate costruzioni progettate dell'architettura contemporanea. In contrasto con la loro natura eccessivamente elaborata che è spesso considerata come un obiettivo in sé, la differenziazione dei risultati di un sistema materiale discende dal dettaglio spaziale, dalle condizioni o dai criteri strutturali, climatici, luminosi o acustici. I processi evolutivi, allo stesso tempo, assicurano che questa differenziazione avvenga all'interno dello spazio di soluzione della materializzazione. Questo significa che all'interno dello spazio di ricerca delimitato dalla materialità, dalla produzione e assemblaggio, è possibile individuare nuove possibilità. Qui, l'investimento principale è in una progettazione metodologica, intellettuale.

resulting from the specific make-up of each phenotype is then analyzed and evaluated. The resulting interaction between the material arrangement of the system and its surrounding (macro-) environment plays a major role in this, as it also leads to changes in the (micro-) occurrences inside and beyond the confines of the system. After this, based on the evaluation criteria a selection of the most effective systems is made, whose information sets, respectively whose crossbreeding represent the basis for the next generation of material system individuals. It's important to note that also spontaneous changes of the information sets can appear, that is so-called mutations, whereby the evolution of the system represents essentially an open system. In the course of this evolutionary process, the increasing specificity of the local modulation of space, load, climate, light, sound, etc.

characterize the performative capacity of the resulting material system.

Simplexity in Architecture

The research- and design-approach presented here in extracts is essentially based on treating the above described interaction with external influences, thus the performativity, and the ensuing modulation together as integral characteristics of the material systems that cannot be looked at in isolation. The interaction of the material arrangement with the specific (macro-) environment of space, load, climate, light, sound, etc. in which it is embedded causes local changes of the (micro-) occurrences inside and beyond the confines of the system. The modulation of the environment is referred to as the performative effects of the material system. This means that partial aspects of construction systems which are currently

design-methodologically looked at in isolation, such as structural technology, building physics, or space organizational criteria, become part of an integrative generative process which directly includes the complex interrelations between material system and performative capacity. The complexity of such interrelations requires moving from the focus on the singular shape to the recognition of patterns, which begin to emerge during the process of increasing differentiation of the system – in space and in time. Thus computational design capitalizes on the computer's potential to balance multiple influential factors, carry out multiple processes and to deal with complex relationships and thereby makes it possible to recognize patterns of such different nature during the design process and to explore them in order to take advantage of the performative capacity which results from the integration of

Perciò l'approccio di ricerca e progettuale qui presentato non richiede materiali esotici o processi produttivi costosi, ma può effettivamente diventare rilevante proprio in contesti con risorse scarse. Consente la creazione di sistemi relativamente semplici con materiali facilmente reperibili che, attraverso la loro differenziazione possono sviluppare complesse capacità performative. Inoltre, la fattibilità della ricerca presentata e del relativo approccio progettuale verso la morfogenesi computazionale integrativa basata su materiali da costruzione facilmente reperibili è stata dimostrata in una serie di prototipi in scala.

REFERENCES

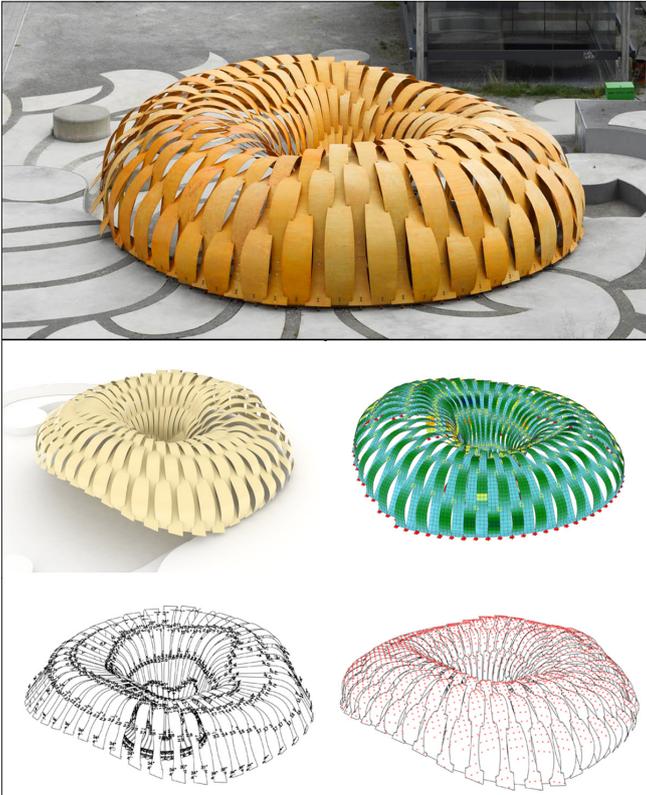
- Burry, M. (2011), *Scripting Cultures – Architectural Design and Programming*, Wiley, London, pp. 40-42, ISBN: 978-0470746417.
- Hensel, M., Menges, A. (2008), "Inclusive Performance: Efficiency versus Effectiveness", *Architectural Design*, Vol. 78 No. 2, pp. 54-63.
- Hemberg, M., Menges, A., O'Reilly, U.-M. (2004), "Evolutionary Computation in Architecture", *Architectural Design*, Vol. 74 No. 3, pp. 48-53.
- Howard, R. (1998), *Computing in Construction: Pioneers and the Future*, Oxford/Woburn: Butterworth-Heinemann.
- Lewis, W.J. (2003), *Tension Structures: Form and Behavior*, Thomas Telford Publishing, London.
- Liu, Y.T., M., Lim, C.K. (2009), *New Tectonics – Towards a New Theory of Digital Architecture*, Birkhäuser, Basel, pp. 118-125.
- Mark, E., Gross, M., Goldschmidt, G. (2008), "A Perspective on Computer Aided Design after Four Decades", *Architecture in Computro, Proceeding of the 26th eCAADe Conference*, Antwerpen (Belgium) 17-20 September 2008, 169 - 176.
- Menges, A. (2006), "Polymorphism", *Architectural Design*, Vol. 76 No. 2, pp. 78-87.
- Menges, A. (2007), "Computational Morphogenesis", *Proceedings of the Third International Conference of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAD)*, Alexandria (Egypt) 28-30 November 2007, pp. 725-744.
- Menges, A. (2008), "Integral Formation and Materialisation: Computational Form and Material Gestalt", in B. Kolarevic and K. Klingner (ed.), *Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture*, Routledge, New York, pp. 195-210.
- Menges, A. (2010), "Form Generation and Materialization at the Transition from Computer-aided to Computational Design", *Detail* (English Edition), Vol. 2010 No. 04, pp. 330-335.
- Moncrieff, E. (2005), "Systems for Lightweight Structure Design: the State-of-the-Art and Current Developments", *Computation Methods in Applied Sciences*, Volume 3, Springer, Berlin, pp.17-28.
- Mueller, B., Newmann, H. (2003), *Origination of organismal form*, MIT Press, Cambridge.
- Otto, F., Rasch, B. (1996), *Finding Form*, Edition Axel Menges, Stuttgart.
- Terzidis, K. (2006), *Algorithmic Architecture*, Oxford: Architectural Press.

becoming form and becoming material in a novel fashion.

The differentiation arising from the computer-based evolutionary process has yet another important consequence. Certain characteristics, which evolved during the differentiation of the individual material systems on the basis of specific requirements, may turn out to possess performative qualities that are unrelated to the initial criteria. This performative integration is very different from the approach of optimizing functionally separate subsystems that is still common in architecture and the related engineering sciences today. In contrast to this, the approach described here can be understood as a gradient system, which does not need to be functionally subdivided into subsystems, but which can cover a whole range of performative criteria within a small set of system levels. The research- and design-approach

presented here is thus not based on the optimization of singular aspects, but on the evolving integration of a multitude of criteria within one system. This leads to a functional redundancy with respect to certain single characteristics, but makes the overall system very robust. This type of overarching robustness is yet another significant result of evolutionary criteria. Keeping in mind that any architectural design is always an intervention in a de facto unknown future the concept of robustness as a basic property of evolved systems in architecture can take on much broader implications. Differentiation, heterogeneity and robustness become a component of social, economical and ecological sustainability.

The complex material systems that arise from reciprocities are fundamentally different from the designed complicated constructions of contemporary architecture. In contrast to their overly



elaborate nature that is often regarded as a goal in itself, the differentiation of a material system results from the particular spatial, structural, climatic, luminous or acoustic conditions or criteria. The evolutionary processes at the same time ensure that this differentiation occurs within the solution space of materialization. This means that within the search space set by materiality, production and assembly, novel possibilities can be found. Here, the main investment is of a design methodological, intellectual nature. Therefore the research- and design-approach presented here does not require exotic materials or expensive production processes, but can actually become relevant precisely in contexts with scarce resources. It enables the creation of relatively simple systems out of readily available materials which, through their differentiation, can develop complex performative capacities.



As of yet, the feasibility of the presented research and related design approach towards integrative computational morphogenesis based on readily available construction materials has been proven in a number of full scale prototypes.

04, 05 |

ICD/IITKE Research Pavilion 2010

*ICD Institute for Computational Design
(Prof. A. Menges)*

*ITKE Institute of Building Structures and
Structural Design (Prof. J. Knippers)*

*Faculty of Architecture and Urban
Planning, University of Stuttgart*