

Gian Luca Brunetti, Dipartimento DASTU, Scuola di Architettura e Società, Politecnico di Milano

gianluca.brunetti@polimi.it

Abstract. Questo articolo presenta una procedura per l'esplorazione delle opzioni progettuali nella progettazione preliminare. Tale procedimento è basata sull'applicazione di procedure di *morphing*, tipiche degli strumenti per l'animazione di modelli geometrici 3D, all'analisi parametrica delle prestazioni degli edifici. Esso opera attraverso la produzione di sequenze di valutazioni effettuate su modelli dinamici virtuali appositamente preparati ed è finalizzato alla predisposizione di campi di dati per la rappresentazione delle conseguenze prestazionali di scenari progettuali tra loro alternativi. Tale rappresentazione, necessariamente multidimensionale, è basata su grafici a coordinate parallele. Nell'articolo si descrive inoltre l'implementazione di un'applicazione specifica della procedura, finalizzata a valutarne l'utilizzabilità. La procedura fa uso di sistemi e strumenti di analisi e rappresentazione contemporanei; nello specifico, *ESP-r*, *Radiance*, *Ggobi* e *OPTS*, uno strumento per il *morphing* dinamico di modelli virtuali attraverso criteri specificati dall'utente, ad opera dell'autore.

Parole chiave: Progettazione ambientale, Progettazione architettonica, Analisi parametrica, Progettazione preliminare, Modellazione dinamica

Introduzione

L'architettura deve rispondere a obiettivi molto diversificati e interdipendenti. Questo rende difficile la definizione di procedure di supporto decisionale alla progettazione preliminare. Non a caso, gli strumenti di supporto al progetto architettonico hanno oggi una funzione prevalentemente di verifica post-decisionale, cosa che contribuisce a spingere i progettisti verso un tipo di approccio non sistematizzato alla progettazione preliminare.

Attualmente le fasi preliminari della progettazione sono supportate soprattutto da criteri e metodi di valutazione approssimati, che risultano affidabili in situazioni di contesto ordinarie, ma non sempre in situazioni non ordinarie, anche per effetto dell'accumulo di errori che può avvenire nella non rara situazione in cui essi siano usati in sequenza (Scudo e Brunetti, 2007).

La difficoltà del progetto preliminare non è solo causata dalla complessità delle relazioni in gioco, ma anche dal fatto che esso

riguarda campi discontinui di opzioni ed effetti, caratterizzati non solo da variazioni quantitative, ma anche da 'salti' qualitativi; cosa che determina la grande utilità del cosiddetto "pensiero laterale" nella progettazione.

Ma è proprio nelle fasi iniziali del progetto che una mappatura delle relazioni tra costi e benefici delle scelte sarebbe più utile, specialmente quando sono chiamate in gioco questioni riguardanti la morfologia architettonica. E questo è soprattutto vero per situazioni non usuali, rispetto alle quali vi sono maggiori probabilità di riscontro di influenze non anticipate di determinati parametri progettuali sulle prestazioni; dalla qual cosa consegue che i metodi di indagine in grado di segnalare l'esistenza di relazioni contro-intuitive e non anticipate sono di grande utilità nella progettazione preliminare.

Sia le situazioni progettuali inusuali, sia quelle complesse possono tuttavia risultare difficili da investigare attraverso tecniche di esplorazione basate su computer, data appunto l'ampiezza delle possibili combinazioni di soluzioni in gioco, a meno che non si riesca ad operare una drastica riduzione dei parametri, cosa possibile nel caso in cui la ricerca stessa sia adeguatamente progettata. Quando questo non avviene, vi è il rischio che i processi per l'esplorazione di soluzioni progettuali prendano strade controproducenti, le più comuni delle quali portano agli estremi dell'arbitrarietà e del funzionalismo. Interessanti esperienze di ricerca hanno prodotto applicazioni come GenOPT (Wetter, 2000), JEPlus (Zhang, 2011-12) e ZEBO (Attia, Gratia, De Herde e Hensen, 2012), mirate all'esplorazione parametrica di opzioni progettuali attraverso l'utilizzo di programmi di simulazione termica in regime dinamico, come EnergyPlus and Trnsys. Al-

Procedural
meta-models for
architectural design
praxis

Abstract: This article discusses a procedure for the exploration of options in preliminary design. The procedure is based on the application of morphing procedures, which are typical of animation software, to building parametric analyses. The procedure is based on partially overlapping sequences of evaluations targeted on dynamic ad-hoc test-models and is aimed at the creation of data fields for the representation of the performance consequences of competing design sceneries. This representation is necessarily multidimensional and is based on parallel coordinates plots. The implementation of a specific test procedure of the kind described above is also discussed. The procedure has been supported by the use of contemporary analytical and representational systems and tools; namely, *ESP-r*, *Radiance*, *Ggobi*, and an extensible tool for the dynamic morphing of models through user-specified criteria, named *OPTS*, by the author.

Keywords: Environmental design, Building analysis, Parametric analysis, Early design analysis, Dynamic modelling.

Introduction

Architecture has to respond to many goals. It has to be both affordable, sustainable and valuable, at both economic and environmental level, and has to be comfortable at both thermal, lighting and acoustic level. This has probably hindered the development of preliminary design methods in history.

Most advanced support tools for architectural design mostly have a post-decision control purpose, which contribute to push architectural designers toward a tentative kind of approach during the early phases of design, which often ends up being based on nearly blind samplings in problem space.

Early design phases in architectural

design today are still generally supported by rules-of-thumb and approximate evaluation methods and guidelines, which have the unquestionable merit of usually being valid in ordinary situations (with regards to climatic and on-site environmental conditions, for instance), but can be less reliable – or sometimes plainly unreliable – in the case of extraordinary context conditions. The inadequacies of approximate methods can, moreover, add up for accumulation of errors in the non-rare situation in which they are used in sequences (Scudo and Brunetti, 2007).

At an early stage, addressing design is notoriously difficult not only because of the complexity of the relations in play, but also because it often requires the scrutiny of discontinuous fields of options, characterized not only by quantitative variations, but also

tre esperienze interessanti sono state finalizzate all'esplorazione di opzioni progettuali attraverso la combinazione di strumenti CAD (Sketchup) con programmi per il *morphing* (software per la produzione di animazioni a partire da modelli 3D), sempre combinate con strumenti di simulazione in regime dinamico (Franconi, 2011).

Ma le fasi preliminari della progettazione continuano ad essere poco supportate da procedure consolidate. Questo espone al rischio di ottimizzazione prematura, dovuto a una carenza analitica nelle fasi iniziali di indagine ed a una proporzionalmente elevata attenzione alle fasi definitive ed esecutive. Si tratta di un rischio che non ha riguardato l'architettura della tradizione, in quanto basata su modelli testati nel tempo e nell'uso (Rapoport, 1969)¹.

L'ottimizzazione prematura comporta il rischio che le soluzioni progettuali vengano a fissarsi su massimi prestazionali locali invece che assoluti e picchi prestazionali invece che *plateaux*; cosa che è invece tipica delle soluzioni affidabili, 'robuste', il cui effetto non dipende da un precario bilanciamento di condizioni, ma da solide combinazioni di condizioni, valide per ampie gamme di valori di parametri.

Negli ultimi decenni, il rischio di ottimizzazione prematura è ulteriormente aumentato a causa della rigidità funzionale degli strumenti CAD delle prime generazioni. L'utilizzo dei CAD ha reso più indistinta la transizione dalle bozze progettuali alla versione definitiva dei progetti, che costituiva un'importante opportunità di rimessa in questione iterativa delle idee generatrici dei progetti stessi.

Per sfruttare appieno i vantaggi degli strumenti digitali senza doverne scontare necessariamente gli svantaggi è probabile che

siano ancora necessarie ricerca e innovazioni. In questo, le tecniche di *morphing* possono essere di aiuto. Il *morphing* può essere visto come una soluzione finalizzata all'esplorazione virtuale di ipotesi progettuali attraverso percorsi di indagine specificati dal progettista.

Ipotesi di una procedura per la valutazione di opzioni progettuali

La ricerca qui presentata è finalizzata alla definizione di una procedura per la valutazione di opzioni progettuali supportata da computer potenzialmente valida anche in situazioni di contesto non ordinarie.

Si tratta di una procedura messa a punto dall'autore a partire dal 2008 e perfezionata, dal 2010, nel contesto di una ricerca PRIN 2008, dal titolo *Integrazione di tecnologie da fonti energetiche rinnovabili nell'ambiente costruito*. Tale ricerca è stata coordinata a livello nazionale dal prof. Gianni Scudo del Politecnico di Milano e ha coinvolto unità di ricerca del Politecnico di Milano, dell'Università di Firenze (coordinatore: prof. Marco Sala), dell'Università di Genova (coordinatore: prof. Giorgio Giallocosta) e della Seconda Università di Napoli (coordinatore: prof. Sergio Rinaldi). Strategia adottata nella procedura in questione è quella di analizzare non solo le condizioni climatiche e microclimatiche dei progetti, ma anche il comportamento ambientale di oggetti virtuali appositamente posizionati sulle scene architettoniche, come misuratori complessi di prestazione. Tale obiettivo può essere perseguito se il progetto dei modelli è accompagnato da quello delle procedure da impiegarsi per ricavare risposte da essi; cosa che, risultando attualmente piuttosto laboriosa, può essere proposta al progettista come modifica di oggetti procedurali formati

by qualitative 'leaps' - which may be the main reason why so-called "lateral thinking" is particularly useful in architectural design.

Nonetheless, it is in early design phases that a cost/benefit mapping of possible choices would be more useful, since the analysis in those phases regards relations that are particularly complex, mutual and numerous, especially when morphology is implied. And this is most of all true for unordinary context situation, that are likely to be the ones in which the probabilities that counterintuitive conclusions could be the right ones are higher.

From which derives that methods signalling the validity of counterintuitive conclusions are very valuable in early building design. One more reason for that is that unordinary situations are far from rare in building design, particularly in urban contexts.

But both non-ordinary and complex design conditions may make techniques for the automatic exploration of building design options less viable too, due to a too great population of variables, unless those are streamlined for a drastic reduction of those variables; in other words, unless the search process itself is properly *designed*. If this does not happen, processes for the exploration of solutions may take counterproductive routes; the commonest of which is to fall into the trap of the arbitrariness, or, at the opposite, functionalism.

Interesting research paths have brought to the production of applications, like GenOPT (Wetter, 2000), JEPlus (Zhang, 2011-12), and ZEBO, (Attia, Gratia, De Herde and Hensen, 2012) operating parametric explorations of design options by directing energy simulation programs, like

EnergyPlus and Trnsys. And other interesting experiences have been made by combining CAD tools (Sketchup) with morphing software (software for the production of animations, serializing modifications of models along user-specified modification paths) and with energy simulation tools (Franconi, 2011).

But early design procedures are today still weakly established by architectural procedures. Due to this, that contemporary architectural projects are always at the risk of being marred by premature optimization. This didn't regard traditional architecture, which was tested by time and use (Rapoport, 1969)¹.

Premature optimization notoriously brings the risk of fixing design hypotheses on local maxima instead of targeting absolute maxima, or safe, robust plateaus, which is the objective

of robust design solutions; that is, solutions whose effect does not depend upon a precarious balance of conditions, but on strong combinations of conditions, valid for broad ranges and combinations of variables' values.

In last decades, the risk of premature optimization in design has also been increased due to the rigidity of first generations CAD and CAD related tools. The advent of these tools has blurred the distinction between a draft of a project and a final versions of it, that was an opportunity for their iterative re-discussion. To fully exploit the advantages of digital tools without assuming their disadvantages it is likely that research and innovations are required. Here is where morphing may come of aid. It may be viewed as a solution aimed to the explorations of design options explicitly specified by the inquirer through digital models

da modelli e da procedure ad essi correlate, preparati e testati anticipatamente.

Condizioni per una procedura

Una definizione di procedura del tipo descritto è stata prototipata dall'autore attraverso l'utilizzo di un'applicazione software chiamata *OPTS* (Brunetti, 2008) finalizzata alla creazione automatica di serie di modelli attraverso il programma di simulazione energetica ESP-r. L'obiettivo della procedura in questione è quello di creare e mettere a punto informazioni utili alla progettazione preliminare in un modo e con una logica che possano risultare rilevanti e comprensibili ai progettisti di Architettura. Si tratta di una procedura che mira a gettare alcune basi di giudizio informato attraverso la produzione di dati che possano essere usati per successive analisi finalizzate al progetto e basate sulle prestazioni (Performance-based Design, PBD) (Kalay, 2000).

OPTS può essere definito come uno strumento mirato alla meta-progettazione dettagliata. Il nucleo delle sue funzionalità sta nella creazione automatica di serie di modelli attraverso procedure di *morphing*. Questa funzionalità è stata perseguita nella convinzione che quando le decisioni progettuali coinvolgono aspetti morfologici, la possibilità di testare con flessibilità l'effetto delle variazioni morfologiche sia cruciale per ottenere capacità conoscitiva. Ciò che distingue *OPTS* da strumenti simili è l'enfasi sull'obiettivo di fornire all'utente una possibilità di controllo dinamico sulle operazioni di *morphing*, grazie alla capacità di specificare relazioni dinamiche tra parametri in gioco e programmare percorsi di esplorazione sofisticati.

Più specificamente, la caratteristica distintiva dello strumento

and tools.

Hypotheses for a procedure for the search of design options

The here presented research is aimed to the definition of a computer-assisted procedure potentially suitable to support design decisions in non-ordinary context conditions. The procedure has been conceived from 2008 by the author and refined, starting from 2010, in the framework of a nationally-funded PRIN 2008 research titled *Integration of renewable energy sources in the built environment*. The research in question was coordinated at National level by prof. Gianni Scudo of Polytechnic University of Milan, and involved research units from Polytechnic University of Milan, University of Florence (coordinator: prof. Marco Sala), University of Genua (coordinator: prof. Giorgio

Giallocosta), and Second University of Naples (coordinator: prof Sergio Rinaldi).

A solution here proposed to avoid the risk of oversimplification or even wrong guessing in non-ordinary context conditions is to analyse the factors determining those conditions not only by themselves, but also by examining the environmental behaviour of virtual test objects purposefully positioned in design scenes, as performance measurers. Which is an objective that can be pursued providing that both an appropriate setting up of the test models and the definition of effective procedures to analyse their behaviour are accomplished; which being presently a time-consuming operation, may be proposed to the designer as an editing of procedural objects formed by models and procedures targeting them, prepared

è la capacità di guidare la mutazione dei modelli attraverso un meccanismo di propagazione di vincoli (condizioni) specificati dall'utente, così da rendere possibile la trasmissione dell'effetto delle variazioni di determinati parametri su altre qualità descrittive dei modelli, con questo riducendo il numero delle variabili in gioco e ottenendo la possibilità di operare sui modelli variazioni simili a quelle che sarebbero ottenibili nel caso in cui essi fossero creati con tecniche di programmazione a oggetti, anche nel caso in cui non lo siano. Un'altra caratteristica saliente di *OPTS* è la capacità di prendere in considerazione 'salti' esplorativi nell'evoluzione delle ipotesi progettuali, non solo all'inizio dei processi di *morphing*, ma anche nella loro parte intermedia. Questo è stato fatto per rendere più agevole la mappatura dei percorsi di scelta propri del pensiero laterale.

Quando i parametri oggetto di variazione in un modello sono troppo numerosi per esplorare gli effetti in una sola procedura, la ricerca può essere divisa o stratificata in più parti.

La connessione tra ciascun scenario di valutazione e il successivo – cioè le strategie per la scelta dei valori dei parametri da passare alle fasi seguenti di esplorazione – possono essere affidate al giudizio umano o basate su procedure automatiche.

Nella procedura proposta, gli oggetti virtuali definiti sulla scena di progetto non sono necessariamente coincidenti con gli oggetti da progettare (potrebbero, per questo, essere definiti meta-modelli) e sono accompagnati da procedure mirate ad essi (dalla prescrizione di azioni, che ne governano i processi di *morphing*) così da formare sistemi costituiti da meta-modelli procedurali.

L'obiettivo è quello di ottenere che l'apparato procedurale si mantenga semplice all'interfaccia con l'operatore, attivando però un'analisi conoscitiva complessa e articolata. Con questa

and tested in advance.

Conditions for a procedure

A provisional definition of a procedure exploiting advanced energy simulation programs to support early building design has been attempted by the author through the use of an application named *OPTS* (Brunetti, 2008) that he has written to manage the automatic creation and inquiry of test models by the means of the ESP-r energy simulation program.

The objective of the procedure in question is to create and set up information useful to early architectural design in a way and with a logic that are both relevant and understandable by professional designers.

The here presented procedure attempts to lay out some bases for the expert's judgment about the environmental implications of design solu-

tions, producing data which may be used as input for subsequent, finer analyses, and in Performance-based Design (PBD) approaches (Kalay, 2000).

OPTS could be defined as a tool aimed to address detailed meta-design. Its focus is in the automated creation of samples through dynamically controlled *morphing* procedures. This feature has been pursued because when morphology is concerned in a decision process, practical experience suggests that the existence of a means to flexibly control morphological variations is a key to versatility and power of understanding. This is an entirely pragmatic statement.

What distinguishes *OPTS* from other software of the kind is the emphasis on giving to the user a dynamic control over the *morphing* of architectural models, thanks to the capacity of

strategia è possibile definire procedure multidimensionali avanzate con un investimento di tempo relativamente modesto per produrre informazioni di utilità conoscitiva. L'idea è quella di invitare l'utente a scegliere un meta-modello già preparato e la procedura che mira a governare il suo processo di "metamorfosi", e di modificarli per soddisfare le necessità di casi specifici. La speranza che motiva questo lavoro è che i sistemi di ricerca conoscitiva formati da meta-modelli e dalle procedure ad essi connesse possano essere intesi come oggetti procedurali autonomi, e che la definizione di sistemi per la ricerca di soluzioni progettuali possa divenire, con il tempo, un'attività utile e riconosciuta professionalmente.

Implementazione di una procedura a scopo di verifica Come test per la verifica della percorribilità del tipo di approccio descritto, l'autore ne ha definito degli esempi e ne ha studiato i risultati.

Nel quadro della ricerca PRIN sopra menzionata sono stati definiti vari modelli procedurali analoghi a quello che ci si appresta a descrivere, mirati a modellare sistemi per il guadagno solare passivo (collettori solari e serre).

Lo scopo dell'istanza di procedura in questione è stato quello di analizzare la vocazione di un sito nelle condizioni climatiche di Milano, caratterizzato dalla presenza di ostruzioni (considerazione sia nella componente solare, sia in quella ventilativa), per determinare posizione, forma, dimensioni e qualità costruttive vantaggiose per un piccolo edificio di volume costante da prevedere in esso.

La procedura di ricerca di opzioni è stata strutturata in tre parti (sotto-ricerche), parzialmente sovrapposte, incorporanti un cer-

specifying dynamic relations between the variables in play in morphing, so to give to the user the ability to design elaborate 'paths' of explorations.

The key-feature of OPTS, which presently differentiates it from similar tools, is indeed the possibility to manage variations of models through propagation of constraints (conditions) specified by the user; that is, the possibility to define conditions for the morphing of models by applying constraints to them, to propagate the effect of variations of some model's parameters on some other models' descriptive quality, in order to keep the number of both varying parameters and parameters' values low, and to be able to operate variations on them of the kind which could be obtained if the models were coded like objects, even if they aren't.

Another defining feature of OPTS is

to ease the possibility to take into account qualitative 'leaps' in the design hypotheses, that is, discontinuities in the variations of both parameters' values and morphing processes, not just at the start of the morphing processes, but also somewhere in the middle. This feature has been pursued because it may be of use to address lateral thinking, which is, as said, so an important operative strategy for building designers.

When the parameters of a model are too complex and numerous to be taken into account in a whole search, the search may be split or layered into two or more parts.

The bridging from one evaluation scenery to the next – that is, the strategies for the choice of the parameters' values to pass on to the following procedural steps (sub-searches), presently may be done by human judgment

to livello di comunanza, così da aumentare la solidità e la coerenza del processo di esplorazione, riducendone i rischi di fragilità funzionale.

Le prime due procedure sono state mirate alla caratterizzazione morfologica e materica dell'edificio. Questo, in termini generali, è stato fatto mutandone la posizione sul sito, le proporzioni, la dimensione (assieme la forma e la posizione delle finestre), il grado di convessità/concavità, modificandone l'orientamento, e aggiornando rispetto a questi cambiamenti sia l'esposizione alla radiazione solare e al vento, sia il comportamento luminoso (attraverso l'interfaccia di *ESP-r* al programma per la simulazione luminosa *Radiance*).

Più specificamente, obiettivo della prima sotto-ricerca è stato quello di investigare la posizione sul sito, la morfologia e le soluzioni costruttive proprie del modello (Fig. 1). A questo fine, essa ha preso in considerazione variazioni riguardanti: (a) la posizione *x* e *y* in planimetria; (b) la proporzione tra lunghezza, larghezza e profondità edilizia; (c) l'estensione delle vetrazioni; (d) la qualità delle principali stratificazioni materiche relative all'involucro (per un totale di 7 variabili e 2187 campionamenti). La seconda sotto-ricerca è stata più specificamente finalizzata alla morfologia (Fig. 1). Essa ha assunto la posizione risultata più vantaggiosa nella prima procedura e ha introdotto nuove variazioni morfologiche nel processo di mutazione: una mirata a variare il grado di convessità del modello, una volta a valutare l'effetto di ulteriori variazioni delle finestre e una terza dedicata a operare variazioni di orientamento (per un totale di 7 variabili e 3645 campionamenti).

La sovrapposizione tra le sotto-ricerche 2 e 3 è stata minore di quella tra 1 e 2. La sotto-ricerca 3 ha riguardato un meta-mo-

or by automated criteria.

In the proposed procedure, early design options are studied directly by the means of ready-made, ad-hoc virtual test-objects on the design scene, not necessarily coinciding with the objects that will have to be designed (they may be defined, for this, from the architectural point of view, meta models) coupled with ad-hoc procedures to morph and test them, so to form, conceptually, systems constituted by procedural meta-models.

The objective is to obtain that the procedural apparatus retains the simplicity of a plain tool at the interface for the operator, while triggering an articulate and in-depth analysis. This way, multidimensional, advanced test procedures could be set up in minutes to produce very valuable information, often in a matter of hours. The idea here is to invite the user to pick

a ready-made meta-model and the morphing procedure targeting it, and modify them to suit the needs of specific cases.

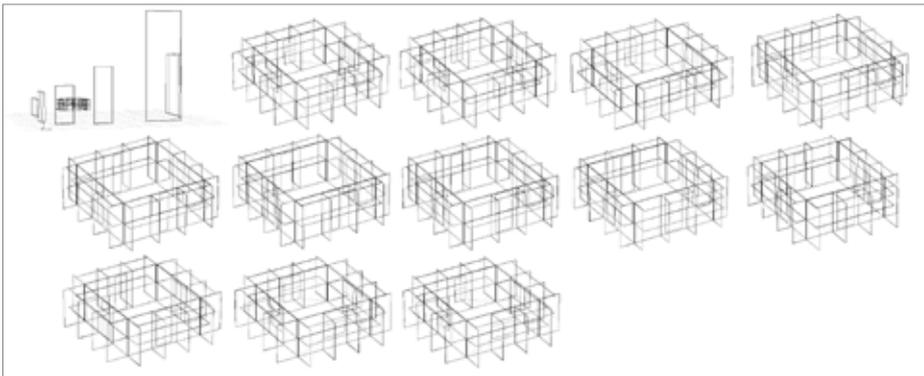
The hope here is that each one of the design search systems formed by a meta-model and the compound procedure targeting it could be intended as a separate tool, a procedural object, and that the definition of design search systems may become in time a useful and recognized activity in the profession.

Implementation of a test procedure

As a test for the viability of the proposed type of procedure, the author has defined some examples of it and has analysed them. Several procedural models similar to the one here presented, aiming to model passive solar gain systems (like solar collectors and greenhouses) have been de-



01 |



02 |

01 | Sequenza di morphing relativa alle sotto-ricerche 1 (sopra) e 2 (sotto). Le soluzioni di involucro testate sono state tre, caratterizzate dall'utilizzo della medesima quantità di materiali (laterizi pieni, strati termoisolanti in lana minerale e intonaci bianchi) e da differenze nella distribuzione degli strati, così da ottenere la stessa quantità di resistenza e differenti livelli di capacità termica utile, effettiva, per tutte le soluzioni. Per brevità, nei grafici si farà riferimento alle tre soluzioni di involucro qui testate con i termini "leggera", "media" e "pesante", dipendentemente dalla loro capacità termica effettiva (soluzioni di involucro diversificate per le pareti e i solai sono poi state valutate con la procedura 3). I vetri presi in considerazione sono tripli a bassa emissività con cavità riempite con argon. I controlli delle aperture delle finestre sono attivati per temperature estive superiori a 26° C

Morphing sequence for procedure 1 (above) and 2 (below). With respect to envelope's construction, three solutions have been tested with the same materials and with a different sequence of layers, so to obtain the same amount of thermal resistance and a different amount of effective thermal capacity. For brevity, these solutions will be referred to as "light", "medium" and "heavy", depending from the quantity of effective thermal capacity implied. The walls and floors in the building models were composed by 24 cm of brick and 10 cm of glasswool, differently distributed in the three solutions (next to the external face, as a central internal layer, and next to the internal face, respectively). Window glasses were triple layer low-e with insulating fill gas, and window flow controls were activated above room temperatures of 26° C in summer, measured as 80% convective and 20% radiant

02 | Sequenza di morphing relativa alla sotto-ricerca 3

Morphing sequence for procedure 3

finned in the framework of the cited PRIN research.

The aim of the procedure's instance in question was to investigate the design vocation of a site in the climatic conditions of Milan, bordered by urban obstructions (which were taken into account in their solar and wind effects), and then to place, shape and dimension in it a small building of constant volume, and define its basic construction qualities.

The search procedure has been structured in three sub-searches, which were partially overlapping and therefore included a certain level of commonance, so to increase robustness and coherence in the exploration process.

Procedures 1 and 2, in a sense, went in search for a form, stretching and squashing (and varying windows' sizes accordingly) the building like an

amoeba, moving it along the site, and updating the effects of those changes on solar and wind exposure, while, if wished, lighting calculations through the ESP-r interface to Radiance were updated. Then each model was simulated, and the results retrieved and aggregated.

Procedure 1 was mainly aimed to investigate position on site, morphology and construction solutions (Fig. 1). To do this, it took into account variations in: (a) positions in the x and y axes; (b) rotation; (c) proportions between width, length and height; (d) percentage of glazed openings' areas; (e) basic building construction layering (for a total of 7 parameters and 2187 sample evaluations).

Procedure 2 was more specifically aimed to morphology. It focussed on the building placed in a supposedly advantageous position defined

through the first procedure, and featured some of the same morphology variations of that one, plus additional ones, featuring other morphing "movements": one controlling building's convexity through warping in plan, other ones making variations of the glazed openings' areas more independent one from another, and one acting on orientation (for a total of 7 parameters and 3645 samples).

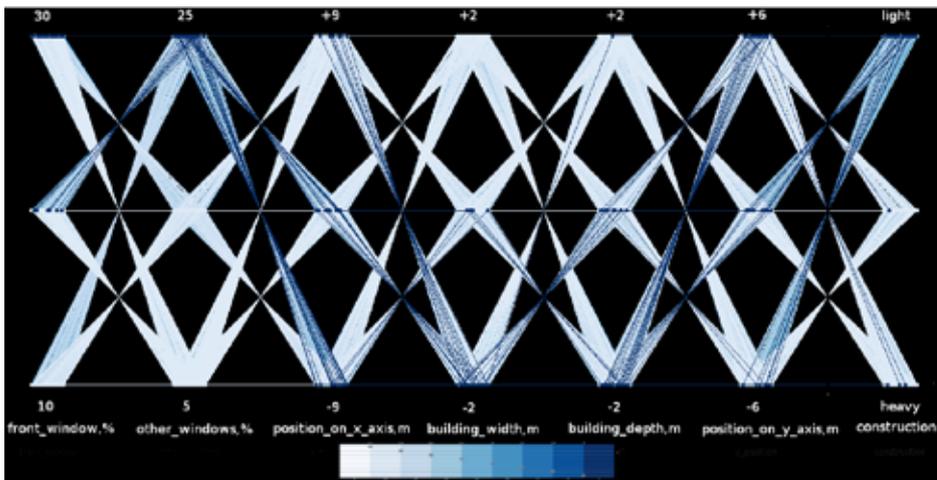
The overlap between procedures 2 and 3 was smaller than that between procedures 1 and 2. Procedure 3 regarded a room, of which it varied shadings' depth, position and dimensions of windows, and construction solutions for walls and floors independently (for a total of 4374 samples, 8 variables).

Windows were here modeled with more detail, to investigate their combined stack-effect and wind-driven

ventilation at room level, and cross them with construction information, like that regarding the opportunity to combine "light" construction solutions for walls with "heavy" construction solutions for floors².

The viability of the derived compound procedure, based on so-called direct search strategies (local and derivative-free, in which the results of each sub-search are used as inputs for the following sub-search), clearly depends on the suitability of the criteria that are adopted to pass parameters' values from one level of the procedure as inputs to the next.

A peculiar difficulty in this operation stems from the typical multiobjectivity of architectural problems, which makes the selection of the fittest unreliable as a selection criterium for "traits" to pass to the following stages of inquiry, because it is prone to pro-



03 | Esempio di grafico a coordinate parallele a colori continui basato sui risultati della sotto-ricerca 1 e riguardante le temperature risultanti massime per il mese di luglio. In blu scuro i risultati più vantaggiosi (temperature minori) e in azzurro chiaro i meno vantaggiosi. Vi si possono notare: le situazioni di vantaggio connesse alle dimensioni delle finestre; all' orientamento; alle situazioni di edifici di larga base e modesta altezza; alle soluzioni caratterizzate da capacità termica utile media ed elevata

Example of parallel-coordinates plot of the results of the first procedure with regards to maximum resultant temperatures in July. In darker blues are the most advantageous performances (lower temperatures), and in lighter blues the least ones. The following situations may be noted: advantage related to windows sizes; to the position; to the greatest building width combined with the greatest building depth; to heavy and medium construction solutions

dello della sezione orizzontale dell'edificio, nel quale la dimensione delle finestre era variata in modo ancora più specifico e si valutavano differenti soluzioni di involucro per pareti e solai (per un totale di 8 parametri e 4374 campionamenti). Il fine delle variazioni sulle finestre era in questo caso quello di ricavare informazioni sull'effetto combinato della ventilazione da vento e per effetto camino nei vani e di combinarle con le informazioni materiche (derivandone, per esempio, informazioni relative all'opportunità di combinazione di soluzioni costruttive "leggere" per le pareti e "pesanti" per i solai)².

La validità di una procedura come quella descritta, basata su una strategia di ricerca detta "diretta", (di tipo locale, non globale, in quanto utilizzando il risultato di ciascuna sotto-ricerca come input per quella successiva, e non implicante l'uso di derivate matematiche) dipende, chiaramente, dall'appropriatezza dei criteri adottati per il passaggio dei valori parametrici da ciascuna sotto-ricerca alla successiva. Una difficoltà peculiare di questa operazione deriva dal tipico carattere multi-obiettivo dei problemi architettonici, che rende inaffidabile il criterio della selezione dei "tratti" (caratteristiche) più performanti come criterio per la selezione dei valori parametrici da passare alle sotto-ricerche successive, con il rischio di produzione di soluzioni sovra-ottimiz-

zate. Tale rischio deriva dal fatto che, mentre l'obiettivo è quello della selezione del "tratto" che presenta la maggiore 'attitudine' a produrre una progenie di casi ben performante nelle esplorazioni successive, esso è perseguito attraverso la soluzione del tratto più "performante", anche le due cose, performatività ed attitudine nel senso sopra descritto, non necessariamente coincidono.

Le funzioni-obiettivo che sono state prese in considerazione come indicatori di prestazione sono state nel caso specifico i fabbisogni mensili per il riscaldamento a febbraio e le temperature massime risultanti in situazioni free-floating (adottate per ricavare informazioni circa la capacità di evitare surriscaldamento). Queste funzioni-obiettivo sono state aggregate (ponderandole 1:1) in un fattore di prestazione multi-obiettivo normalizzato compreso tra 0 e 1.

Un terzo obiettivo, costituito dai fattori medi di luce diurna, è stato usato come criterio-soglia di selezione (istanze non raggiungenti fattori di luce diurna superiori alla soglia del 3% sono stati scartati).

Oltre a confermare l'utilizzabilità pratica della procedura, i risultati ottenuti hanno sottolineato l'importanza di un adeguato livello di comunanza tra sotto-ricerche per garantire integrazione tra esse, possibilità di articolazione e un adeguato flusso di infor-

duce overfit solutions. The risk here stems from the fact that, while the objective is the spotting of the aptest for the following explorations (the aptest to produce a well performing offspring of solutions), this is pursued through the spotting of the fittest (the fittest, "strongest" solution, or group of solutions), even if the two things – performativity aptness in the above described sense, are not necessarily coinciding.

The objective functions which have been here taken into account as performance indicators in this specific case were February heating loads and August mean maximum resultant temperatures (to monitor overheating avoidance) in free-floating conditions. These objective functions have been compounded (pondering them 1:1) in a performance ratio normalized from 0 to 1, which has been used

as a multi-objective indicator. A third objective constituted by mean daylight factors near floors was used as a filtering condition (factors lower than 3% were pruned out).

All search results stressed the fundamental importance of a suitable degree of commonance, of sharing of structure, between sub-searches to favour integration, structural flexibility and a proper flow of information through the exploration process. This commonance has resulted to be particularly useful in combination with direct search strategies, like the ones here adopted, to which it brings the advantage of both warranting information coherence and reducing the risk of entrapment of searches in local, non optimal maxima.

Considerations on the adopted rep-

resentation method

The three described procedures conveyed raw quali-quantitative, multi-dimensional information in a telling, pictorial mode through the use of parallel coordinates plots (Inselberg, 2009) in both discrete and continuous colours, which seems particularly suited to multivariate problems like that in question.

Parallel coordinate plots have here been obtained through the scriptable open source tool *Ggobi* (Swayne, Temple Lang, Buja and Cook 2003).

NOTES

¹ There are certainly cases which might be assimilated to premature optimization in traditional architecture. They are often caused by migrations (displaced optimization may therefore be a more fitting term), happening when migrant ethnic groups

carry with them building types born in previous, different climatic environments. The implanted house types then usually undergo processes of adaptation to the new climatic conditions. One of the most notorious cases in history is that of the Japanese lightweight traditional wooden house on stilt, imported into the temperate climates of mid-latitude Japan from the hot-humid climates of south-east Asia.

² Thermal connections at the ceiling and floor interfaces of the third model were set to adiabatic. Only thermal exchanges of the walls were taken into account in that model.

mazione nel corso del processo esplorativo. Il ruolo della suddetta comunanza appare particolarmente utile in combinazione con strategie di ricerca del tipo diretto quali quelle adottate, rispetto alle quali oltre a fornire coerenza informativa, essa riduce il rischio che i percorsi di esplorazione rimangano intrappolati in massimi locali, non ottimali.

Considerazioni sul metodo di rappresentazione adottato L'applicazione della procedura ha prodotto un'informazione qualitativa multidimensionale che è stata restituita in modo pittorico ed eloquente attraverso l'uso di grafici a coordinate parallele (Inselberg, 2009) a colori sia continui, sia discreti. Quest'ultimo tipo di rappresentazione sembra particolarmente adatto nei casi in cui, come quelli in questione, i risultati più utili ai fini decisionali siano quelli riguardanti le soluzioni più performanti e quelle meno performanti. Tali grafici a coordinate parallele sono stati ottenuti attraverso lo strumento open-source Ggobi (Swayne, Temple Lang, Buja e Cook, 2003).

NOTE

¹ Esistono casi assimilabili a ottimizzazione prematura nell'architettura tradizionale. Essi sono in genere causati da migrazioni (la definizione di ottimizzazione decontestualizzata potrebbe dunque essere appropriata) implicanti il trasferimento di etnie, con il loro bagaglio di cultura materiale, da una situazione climatica a un'altra. I tipi edilizi trapiantati usualmente vanno incontro in seguito a processi di adattamento al nuovo contesto climatico. Uno dei casi più noti della storia è quello dell'abitazione tradizionale giapponese, leggera e rialzata dal terreno, importata nelle zone a clima temperato del Giappone da quelle a clima caldo-umido del sud-est asiatico.
² Le interfacce superiore e inferiore del terzo modello non danno luogo a scambio termico con l'intorno, in quanto poste adiabatiche.

REFERENCES

Scudo, G. e Brunetti, G. L. (2007), "Progettazione ambientale: strumenti e tecniche", *Il Progetto Sostenibile*, Edicom Edizioni, Monfalcone, vol. 16, pp. 1-4.

Rapoport, A. (1969). *House, Form and Culture*, Prentice Hall, New York.

Brunetti, G. L. (2008), "A Design Optimization Tool for Building Energy Simulation", *WREC X Conference Proceedings*, Glasgow, pp. 781-784.

Brunetti, G. L. (2008-2013), OPS v0.55., Applicazione software. Residente sulla pagina web dell'autore presso il Politecnico di Milano.

Kalay, Y. "Performance-based design", *Automation in Construction*. 1999; n. 8, pp. 395-409.

Wetter, M. (2000), *Design Optimization with GenOpt*, Research Report, Simulation Research Group, Laerence Berkeley Laboratory.

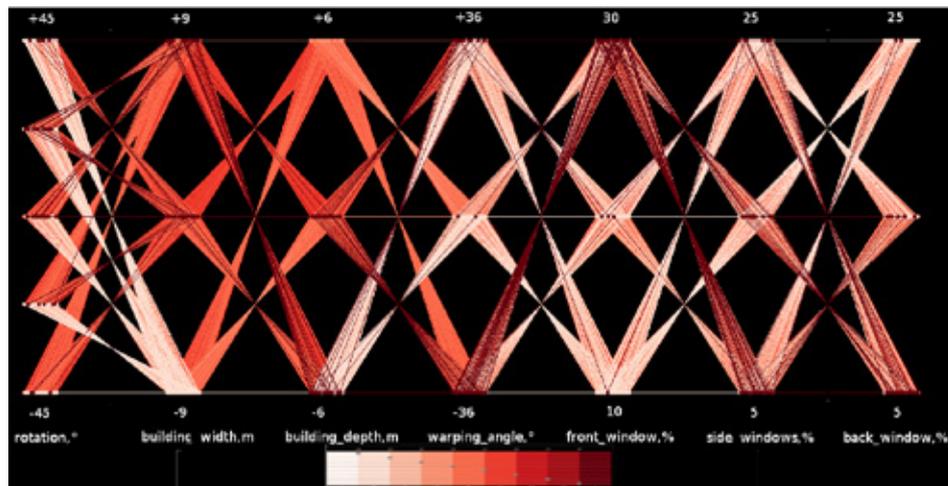
Zhang, Y. (2011-2012), *JEPlus User's Manual*. Web document, http://www.iesd.dmu.ac.uk/~jeplus/wiki/doku.php?id=docs:manual_1_3.

Attia, S., Gratia, E., De Herde, A. e Hensen, J. L. M. (2012), "Simulation-based decision support tool for early stages of zero energy building design", *Energy and Buildings*, n. 49, pp. 2-15.

Franconi, E. (2011), "A method for the design and analysis of parametric building energy model", in *IBSPA Conference*, Sidney.

Inselberg, A. (2009), *Parallel Coordinates: Visual Multidimensional Geometry and its Applications Springer*, New York.

Swayne, D. F., Temple Lang, D., Buja, A. e Cook, D. (2003), "GGobi: Evolving from XGobi into an Extensible Framework for Interactive Data Visualization", *Computational Statistics & Data Analysis*, n. 43, pp. 423-444.



04 | Esempio di grafico a coordinate parallele a colori continui basato sui risultati della sotto-ricerca 2 e riguardante i fabbisogni per il riscaldamento in febbraio. In rosso scuro i risultati più vantaggiosi e in rosa chiaro i meno vantaggiosi. Vi si possono notare: le situazioni di vantaggio connesse agli orientamenti sud e quasi-sud; alle larghezze di corpo di fabbrica elevate o medie; alle profondità di corpo di fabbrica basse o medie; alla convessità verso nord; alla superficie delle finestre; alle soluzioni caratterizzate da alta capacità termica utile

Example of parallel-coordinates plot of the results of the second procedure with regards to heating loads in February. In darker reds are the most advantageous performances (lower heating loads), and in lighter reds the least ones. The following situations may be noted: advantage of south and near-south orientations; of the largest and medium building widths; of the shallowest and medium building depths; of the warping angle bringing convexity to the north; of the window size; of the heaviest construction solution