

Vincenzo Sapienza, DICAR - Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura di Catania
Michele Versaci, SSC - Scuola Superiore di Catania

vincenzo.sapienza@dar.c.unict.it
michele.versaci@gmail.com

Abstract. SETS (Self-Erecting Temporary Shelter) è un progetto nato per la realizzazione di un padiglione temporaneo, flessibile, leggero e sperimentale. Sintesi tra l'antica arte degli origami e l'innovazione delle strutture cinematiche, SETS è capace di passare dalla configurazione bidimensionale, adatta allo stoccaggio ed al trasporto, a quella spaziale, idonea per lo svolgimento delle più svariate funzioni (dalle sfilate di moda sino al ricovero per le emergenze). Tale risultato si deve a due elementi qualificanti: l'accurato controllo geometrico del manufatto, ottenuto grazie all'ausilio della *parametric design*, e la tecnologia della depressurizzazione, capace di 'congelare' il manufatto nella posizione voluta. Nel presente articolo gli autori descrivono le tematiche sottese alle fasi della ricerca sin qui svolta, giunta alla realizzazione di alcuni modelli fisici in scala. Viene inoltre presentato il programma secondo cui proseguiranno le attività, per giungere alla realizzazione di un prototipo in scala reale.

Parole chiave: Padiglione, Cinematismo, Decompressione, Progettazione parametrica, Tipologia

Introduzione

SETS, acronimo di *Self-Erecting Temporary Shelter* (Fig. 1), è il nome dato ad un padiglione multiuso di nuova concezione (Sapienza and Versaci, 2013). Il *concept* che sta alla base si incardina su alcuni punti focali, che saranno illustrati nel prosieguo. Il primo di questi è la temporaneità, che è intrinseca alla classe tipologica di appartenenza. I progettisti ed i critici di architettura rivolgono ai padiglioni temporanei un'attenzione particolare in quanto costituiscono un punto di arrivo, o di ripartenza, della disciplina. Il progetto di un padiglione presuppone e favorisce lo sviluppo di nuovi processi e nuove tecnologie che, incorporate e assimilate, possono condurre ad approcci innovativi di più ampia applicazione (Schittich, 2010). Le microarchitetture sono infatti oggetti versatili e flessibili, ispirati alla mobilità, alla bionica o alla microelettronica (Horden, 2004). Soddisfacendo il bisogno di flessibilità e leggerezza, l'architettura di piccola scala sperimenta nuove esperienze, grazie alla minimizzazione dell'uso

di materia prima ed energia. Il padiglione, prototipo progettuale per eccellenza, è quindi l'espressione più alta della sperimentazione progettuale (Cachola Schmal and Sturm, 2010).

Un secondo requisito importante delle attrezzature del genere è la possibilità di auto montaggio. Per conseguire questo obiettivo SETS è stato immaginato come una struttura interamente cinetica. Le costruzioni architettoniche, pur essendo 'immobili' per antonomasia, usano il cinematismo quale strumento prestazionale: il meccanismo di apertura di infissi e schermature e gli elementi spostabili per la correzione acustica, sono solo alcuni esempi di componenti mobili che possono rendere l'architettura virtuosa. Negli ultimi anni peraltro si è assistito ad un incremento di attenzione nei riguardi di questi comportamenti, definiti "responsivi". L'architettura responsiva sostanzia la sua cifra nella possibilità di interagire con lo spazio fisico, al variare delle esigenze. Dalla sintesi tra la tecnologia ed i materiali, alcuni progettisti hanno sperimentato padiglioni e installazioni capaci di allargarsi o restringersi, in funzione del numero di persone che le occupano¹.

Il progetto di una struttura responsiva e cinetica deve basarsi su una trasformazione geometrica dei suoi componenti, senza che il materiale costituente subisca deformazioni. Nel caso specifico il meccanismo si basa sul *folding*: la piegatura. Infatti SETS non è stato immaginato come un oggetto statico, ma come un meccanismo trasformabile, una sorta di gigantesco origami capace di variare lo stato di piegatura per adattarsi alle condizioni esterne. Uno degli aspetti più interessanti degli origami è la intrinseca sviluppabilità, ottenuta grazie alla combinazione tra cinematismo e piegatura. Le pieghe infatti accrescono la rigidità del manufatto e al contempo sono funzionali alla cinetica del

SELF-ERECTING TEMPORARY SHELTER: Kinetic Design and Vacuumatics

Abstract. SETS (Self-Erecting Temporary Shelter) is a project born to realize a temporary, flexible, lightweight, experimental pavilion. It is a synthesis between the ancient origami's art and the innovative vacuumatics. So SETS is able to switch from two-dimensional configuration, for transportation and storage, to the spatial one, adaptable to several uses (from fashion shows to emergencies). To achieve this goal SETS is based on two qualifying items: a strong geometric control, due to the parametric design tool, and the vacuum technology, that is able to 'freeze' it into the chosen configuration. In this article the authors will describe the topics of the first steps of the research, that allowed them to make some physical model in scale. They will also show the program of the following phases, that are addressed to the building of a prototype. **Keywords:** Pavilion, Kinematics, Vacuumatics, Parametricism, Topology

Introduction

SETS, acronym of *Self-Erecting Temporary Shelter* (Fig. 1), is the name of a new design multipurpose pavilion (Sapienza and Versaci, 2013). Its concept is focused around some topics, that will be illustrated below.

The first one is the temporality, that is intrinsic in the treated typology. The designers and the critics are paying special attention to temporary pavilion as discipline's starting or arrival point. The design of a pavilion assumes and implements the development of new processes and technologies which, after being incorporated and assimilated, can produce wider and innovative approaches (Schittich, 2010). Micro-architectures are versatile and flexible objects, inspired to mobility, bionics or microelectronics (Horden, 2004). Satisfying the requirement of flexibility and lightness, small scale architec-

ture experiments new experience, by minimizing the use of raw material and energy. The pavilion, prototype par excellence, is the ultimate expression of architectural design research (Cachola Schmal and Sturm, 2010).

Another important requirement of these kind of architectures is the possibility of self-erection. To reach this aim, SETS was imagined as a completely kinetic structure. Architectural buildings, though they are quintessentially static, use kinetics as a performance tool: dynamic shading, doors and openings, acoustic controllers, are just few examples of kinetic components which are crucial for a virtuous architecture. Those features, called "responsive", have received more attention in the last years. The responsive architecture focuses on the possibility of physical space interaction with the requirements of the users. By means of

meccanismo. Il tutto è legato attraverso relazioni geometriche e matematiche. Un piccolo cambiamento del pattern può mutare radicalmente la relazione tra le piegature, modificando quindi l'oggetto finale e il meccanismo correlato.

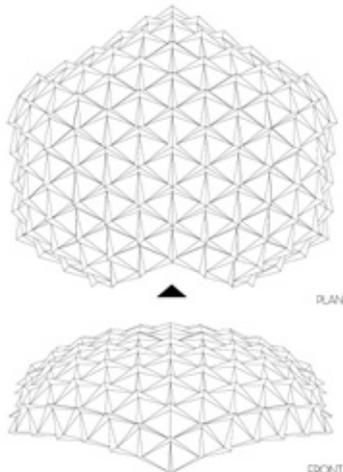
Un'ulteriore questione riguardante i manufatti responsivi attiene alle forze da impiegare per produrre il movimento e bloccare le componenti nella posizione opportuna. A tal fine SETS fa ricorso alla tecnologia della depressurizzazione. Noto sin dai tempi degli emisferi di Magdeburgo², il vuoto è capace di creare grandi forze di coesione tra due o più parti, sfruttando la pressione atmosferica. Le strutture basate sulla decompressione, denominate "vacuumatics" (Sobek, 2007), costituiscono una famiglia che si sviluppa parallelamente a quelle pneumatiche, più antiche e diffuse delle prime (Knaack, Klein and Bilow, 2008).

L'elevata complessità dell'oggetto in studio ha suggerito di assumere una nuova procedura per l'ideazione, il controllo e la verifica. Per tale motivo è stato introdotto nella ricerca un ulteriore, ed ultimo, aspetto: la modellazione parametrica, una nuova tecnica di progettazione che può sostituire le modalità di disegno tradizionali. L'elemento viene definito attraverso alcune quantità, i 'parametri' appunto, dalle quali dipendono tutte le altre (Tedeschi, 2011). Il vantaggio che ne deriva consiste nella possibilità di generare e modificare superfici a geometria complessa, in maniera semplice e rapida. Per contro, essa richiede una profonda conoscenza della geometria e degli strumenti informatici che la gestiscono. In SETS la parametrizzazione è stata impiegata per controllare l'effetto formale, in rapporto al cinematismo (Resch and Christiansen, 1970).

Nei paragrafi che seguono verrà illustrato come ciascuno dei temi introdotti concorre allo sviluppo progettuale di SETS.

01 |

01 | Pianta e prospetto del padiglione
Plan and elevation of the pavilion



Il cinematismo

Per consentire la transizione cinematica dei componenti di SETS dallo stato piano a quello tridimensionale, è stato deciso di impostarli secondo una delle reti modulari ideate da Ron Resch, matematico visionario e pioniere delle strutture sviluppabili. Questi fu il primo ad esplorare il potenziale architettonico delle strutture tassellate tridimensionali, negli anni Settanta³.

In particolare, il pattern adottato per SETS, è basato su una maglia di triangoli equilateri ed è capace di creare uno spazio sotteso, variabile in funzione dell'angolo di piegatura, che si ottiene ruotando rigidamente le maglie mutualmente lungo ciascun bordo, assunto come asse di rotazione.

Quindi il sistema subisce una trasformazione topologica⁴, dalla configurazione piana allo stato finale concavo, che può essere determinato in due differenti modi: sia fissando l'angolo tra i lati delle maglie ed il piano di posa, sia assegnando l'ampiezza degli angoli interni (Resch, 1973).

Il modello, reversibile e cinematico, consente di erigere il guscio che costituisce SETS. La forma globale è una superficie a doppia curvatura, discretizzata dalla maglia assunta. L'assenza di punti di concavità all'estradosso è funzionale allo smaltimento dell'acqua piovana, in caso di uso in esterni.

Sottovuoto

Per fissare SETS nella forma voluta, si è fatto ricorso ad una tecnologia antica e innovativa allo stesso tempo: il vuoto.

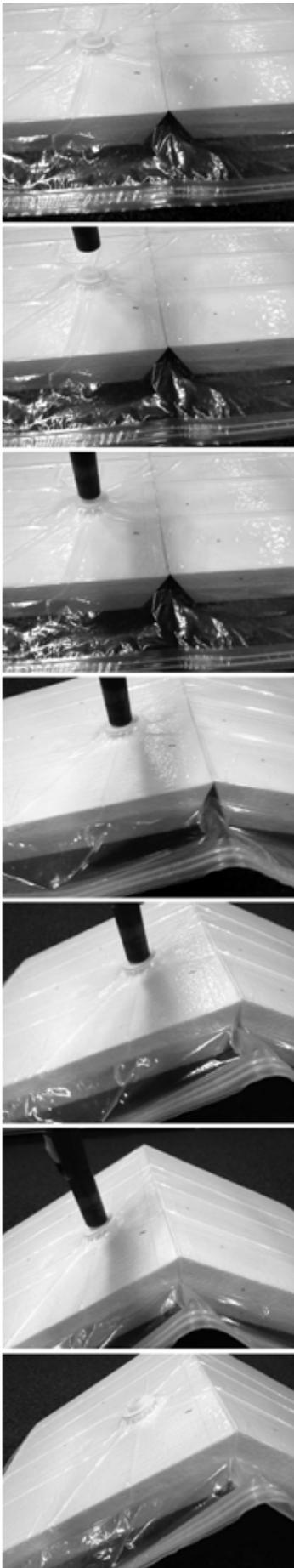
L'idea di base è quella di porre in depressione un sacco in plastica, contenente i componenti realizzati con un materiale leggero, sagomati secondo le maglie della griglia adottata. Estruendo l'aria dal suo interno si provoca un mutuo avvicinamento dei pezzi

combinations of technology and material research, some designers have experimented pavilions and installations where the building is able to widen or to shrink itself, depending on the people occupying the space¹.

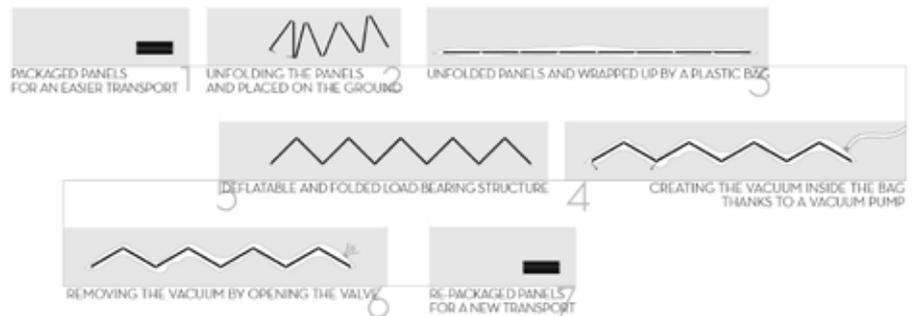
The design of a responsive and kinetic structure should be based on a geometrical transformation of the components, without material deformations. In this case, the mechanism relies on folding. SETS hasn't been imagined as a static object, but as a transformable building, a sort of huge origami able to change the folding state to adapt itself to the exterior conditions. One of the most interesting aspects of origami, in fact, is its inherent developability, due to the combination of kinematics and folding. The folds increase its rigidity and, at the same time, are functional to the general kinetics. All is bound together by geometric relationships.

Therefore, small changes of the pattern can completely modify the relation between the folds, and thus the design and the mechanism's performance.

Another important question, regarding the responsive structures, is about forces employed to produce the movement of the elements and stop them in the desired position. For this purpose, SETS uses the vacuum technology. Known since the experiment of the Magdeburg hemispheres², the vacuum is able to create great forces of cohesion between two or more elements, by using only the external pressure. The structures based on depression, called "vacuumatics" (Sobek, 2007), constitute a family following a developing and testing path parallel to inflatable products, that are more ancient and diffused (Knaack, Klein, and Bilow, 2008).



03 |



02 | Sperimentazione di massima eseguita presso l'ETH di Zurigo per verificare il comportamento cinematico
Preliminary experimentations carried out at the ETH, to verify the cinematism

03 | Concept delle fasi di montaggio, smontaggio e trasporto
Concept of the assembly, disassembly and portage

che iniziano gradualmente a ruotare, grazie alla reciproca smussatura dei bordi (Fig. 2). La pressione esterna agisce in maniera del tutto simile ad una mano gigantesca che piega il pattern, come se fosse un origami. Alla fine del processo la struttura sarà congelata nella posizione voluta, come un pacco di caffè: inconsistente a riposo e rigido se sottovuoto (Huijben and Van Herwijnen, 2008). Inoltre la possibilità di controllare il valore della 'precompressione', intervenendo semplicemente sul livello della depressione, consente di sbloccare la struttura e riconfigurarla, per assecondare nuove esigenze, o adattarla a nuove o particolari condizioni d'uso.

La tecnologia del sottovuoto permette continui reimpieghi e rende agevole il trasporto: aprendo la valvola, si ristabilisce la pressione ambiente, SETS torna in fase bidimensionale e può essere ripiegato e portato via (Fig. 3).

The high complexity of the studied object suggested a new way of imagining, controlling and designing these dynamic structures. For this reason, it was introduced another, and last, research topic: the parametric modeling. That, as a new way to design, could substitute the consolidated drawing techniques, since it is possible to define some quantities, called 'parameters', from which all the other ones depend (Tedeschi, 2011). The main advantage is the possibility to generate complex geometric shapes very quickly and the possibility to change easily and rapidly. On the other hand it is necessary a deep knowledge of geometry and of IT tools. For SETS, the parameterization has been used to control the global shape, related to the kinetics (Resch and Christiansen, 1970). In the next paragraphs it will be illustrated how these topics are reflected in SETS design.

Kinematics

In view of obtaining the kinematic transition, from the two-dimensional configuration to the tridimensional dome, it has been chosen a modular pattern described for the first time by Ron Resch, great mathematician and pioneer of developable structures. He was the first who explored the potential of tessellated three-dimensional structures³. The pattern is based on a net of equilateral triangles that can create a subtended space, variable according to the degree of folding. This is done by rigidly rotating meshes, mutually bound together along their edges, that are the rotation axes. The pattern thus undergoes a topological transformation⁴, from the flat configuration to the final state. It can be determined in two different ways: either by fixing the angle between the border meshes and the laying surface, or by fixing the



Nelle sperimentazioni di settore usualmente vengono impiegati elementi sciolti con forma neutra, tipicamente sfere di piccolo diametro (Knaack, Klein and Bilow, 2008). La geometria dell'oggetto finale è data quindi dal sacco di plastica ed è pertanto piuttosto schematica. SETS si distanzia da essi grazie all'impiego di componenti con forma specifica; ciò consente di giungere ad una valenza formale maggiormente significativa. Inoltre viene sfruttata l'elevata resistenza meccanica per forma, connessa al tipo geometrico della superficie corrugata, che viene ulteriormente incrementata dalla tecnologia del sottovuoto.

La modellazione parametrica

SETS è stato disegnato secondo una modalità innovativa: la modellazione parametrica.

L'analisi della geometria su cui si basa il pattern adottato ha consentito di individuare alcune grandezze da cui dipendono tutte le altre, da assumere come parametri. Queste sono tre: il numero di ripetizioni del modulo in direzione radiale, il raggio della circonferenza in cui è inscritta l'intera rete e l'angolo di piegatura tra le varie maglie. Successivamente, sono state fissate le relazioni tra le varie componenti in modo da definire la modalità per generare l'oggetto finito, tradotte in un algoritmo di calcolo attraverso i software dedicati.

La maglia modulare è stata modellata utilizzando *Grasshopper* ed il plug-in *Kangaroo Physics*, due applicativi per *Rhinoceros*. L'operatore logico di *Grasshopper*, basato su un sistema di relazioni

tra componenti, consente di ottenere velocemente la riconfigurazione dell'oggetto, agendo sui parametri del modello. Il principale risultato quindi non è la geometria specifica, ma la relazione tra input e output che risultano collegati in maniera dinamica.

Il prodotto finale è un sistema complesso dove il particolare ed il generale sono in rapporto continuo: in ogni momento è possibile ottimizzare il risultato in base alle differenti esigenze, agendo sui parametri (Hauschild and Karzel, 2011).

Il ricorso alla modellazione parametrica rende SETS particolarmente avanzato ed innovativo, in quanto può essere adattato a svariate esigenze: le specifiche del committente, le condizioni ambientali d'uso, le prestazioni meccaniche, le modalità di produzione ed altro ancora. Quindi non è il semplice progetto di un manufatto, ma è il metaprogetto di una famiglia di prodotti.

Uso e sostenibilità

Grazie alla peculiare tecnologia utilizzata SETS è una struttura temporanea, flessibile, leggera e sperimentale, capace di passare dalla configurazione bidimensionale (per lo stoccaggio ed il trasporto) a quella spaziale (adatta a svariati usi). Fattore qualificante è la rapidità di ingresso in esercizio, che lo rendono particolarmente adatto nei casi di emergenze per calamità naturali. È altrettanto agevole immaginarne l'impiego per eventi culturali, esposizioni, fiere, mostre (Fig. 4), dove il padiglione, grazie alla sua neutralità, può inserirsi in maniera asettica anche in centro storico, senza rinunciare ad una certa autonomia formale (Fig. 5).



05 | Simulazione del padiglione posizionato in Centro Storico
Virtual installation of the pavilion in an Historical City

angular relations between the inner meshes (Resch, 1973).

The model (reversible and kinetic) allows the dome erection, as SETS' envelope. The global shape is a doubly curved surface, discretized by the pattern. The fully concave shape allows the disposal of rainwater, in case of outdoor use.

Vacuomatics

To fix SETS in the desired shape, it is used an ancient but innovative technology: the vacuum.

SETS springs from the idea of creating vacuum inside a plastic bag, which contains the components in light material, shaped according to the pattern. By extracting the air from inside, it is obtained a mutual approach of the pieces. They start to rotate starting to bend the net, by the edges chamfer (Fig. 2). The external pressure acts as a

giant hand, folding the pattern as if it were a piece of origami.

At the end, the structure is solid and rigid, like the coffee-pack effect: limp at rest, rigid if deflated (Huijben, and Van Herwijnen, 2008). Furthermore, the ability to control the amount of pre-compression (simply by adjusting the vacuum level), allows to reconfigure the structures for new form requests, or adapt to new conditions or requirements.

The deflated technology gives the advantage of continuous reuse and makes transportation faster: by unscrewing the valve, and by removing the depression, SETS returns to the two-dimensional phase, packable and portable for new use (Fig. 3).

In the specific experiments, loose items are usually used with neutral form, typically spheres with a small diameter (Knaack, Klein and Bilow,

L'elevato numero di cicli di possibile riutilizzo rendono SETS un manufatto virtuoso; il ricorso a tecnologie a secco elimina la produzione di rifiuti ed emissioni inquinanti; la leggerezza minimizza il costo economico del trasporto e della installazione. Queste prestazioni rendono la sostenibilità complessiva non solo il fine ultimo del progetto, ma il fulcro intorno al quale esso è stato sviluppato. Va sottolineato che la sostenibilità è insita nel manufatto, e non semplicemente opzionabile, seguendo una certa modalità di utilizzo virtuosa, come accade di solito. Per cui i benefici si ottengono ad ogni ciclo di impiego, indipendentemente dalla 'buona volontà' degli utenti. SETS quindi consegue un doppio risultato in quanto al basso costo economico, dovuto all'impiego di materiali base poveri, si somma l'abbattimento dei costi ambientali. Va osservato che mentre il primo aspetto porta dei vantaggi immediatamente apprezzabili e ne rende appetibile l'impiego da parte dei potenziali acquirenti, il secondo apporta benefici a lungo termine, che vanno a favore dell'intera collettività. La flessibilità d'uso si deve poi all'assenza di ostacoli, che caratterizza lo spazio sotteso, ampliabile se necessario componendo insieme un certo numero di moduli. L'aria e la luce, così come le aperture di ingresso, possono essere definite sottraendo una o più maglie alla rete o rendendole trasparenti, in base alle esigenze.

Progetto sperimentale

Il progetto SETS ha mosso i primi passi nell'ambito della tesi conclusiva della Scuola Superiore di Catania, un istituto che offre un percorso parallelo e di eccellenza agli studenti dell'ateneo cittadino (Versaci, 2013). Il suo sviluppo è avvenuto all'interno di una collaborazione fra tre differenti centri universitari⁵.

2008). The final geometry of the object is then given by the plastic bag and therefore it is rather schematic. SETS is a bit different from them thanks to the use of components with a specific shape. That allows to reach a more meaningful formal value. In addition, the high mechanical strength is exploited to form, related to the geometric type of the corrugated surface, which is further enhanced by the technology of vacuum.

Parametric Modeling

The design of SETS has been made into an innovative way: the parametric modeling. The analysis of the geometry on which is based the project allowed us to define the fundamental quantities, by which depend all the others. These ones are three: the number of repetition of the module in the radial direction, the radius of the circumfer-

ence in which the pattern is inscribed and the folding angle between the meshes. So it was fixed the relation between the various components, to define the modality to generate the final object and it was translated in an algorithmic sequence, suitable for the dedicated software.

The pattern was modeled by using *Grasshopper* and its plug-in of *Kangaroo Physics*, that are two applications of *Rhinoceros*. The *Grasshopper's* logic, based on a system of relation between components, allows to obtain fast re-configurations, by acting on the parameters of the model.

Therefore the main result is not the specific geometry, but the relation between input and output that are in dynamic links.

The final product is a complex system where the particular and the general are ongoing relationship: at any time

Il primo passo è consistito nell'analisi della letteratura scientifica relativa all'argomento e nell'ideazione della peculiare tecnologia. Quindi sono stati condotti alcuni test preliminari per valutare le potenzialità e le criticità di questa metodologia innovativa. Sono stati realizzati due modelli fisici in scala, con specifiche differenti⁶. La rete modulare è stata materializzata con elementi in PS (polistirene), che possiede la necessaria leggerezza ed adeguata resistenza planare. Facilmente reperibile e sufficientemente economico, esso è sembrato il materiale più adatto per dar forma alla superficie corrugata. Per l'involucro si è pensato di adottare PE (polietilene) in fogli, il quale manifesta eccellenti caratteristiche di resistenza a trazione (Fig. 6) ed è maggiormente disponibile ed economico rispetto al TPU (poliuretano).

SETS è stato già presentato in diverse circostanze pubbliche, riscuotendo diversi consensi.

All'inizio del 2012, il progetto è stato presentato alla competizione internazionale *Outside the Box - Low and High Technologies for the Emergencies*. L'obiettivo del concorso era quello di risolvere i problemi legati alle calamità naturali con un manufatto avanzato. La soluzione prospettata con SETS ha ricevuto il terzo premio⁷.

Il padiglione si è collocato al secondo posto in *The Best Researcher Award 2013*, un premio annuale per i progetti di ricerca sviluppati all'interno dell'Università di Catania⁸.

Conclusioni

SETS è un manufatto basato sulle tematiche più avanzate ed innovative nella ricerca riguardante l'architettura e l'ingegneria: la temporaneità, il cinematismo, la depressurizzazione, la parametrizzazione. La sintesi di tali temi in un unico oggetto, sfrut-

it is possible to optimize the results according to different needs, acting on the parameters (Karzel and Hauschild, 2011).

The use of parametric modeling makes SETS particularly advanced and innovative, as it can be adapted to different needs: the specifications of the client, the environmental conditions of use, mechanical performances, production methods, and more.

So it is not simply an artifact of the project, but it is the meta-design of family products.

Use and Sustainability

The peculiar and experimental technology has allowed to design a temporary structure, flexible, lightweight and innovative, able to switch from two-dimensional configuration (for transportation and storage) to a spatial one (adaptable to several uses).

It could especially be used in case of disasters, in which starting rescue operations proves to be very important.

It is also suitable for cultural and leisure events, fairs, exhibitions, art installations (Fig. 4) where the pavilion is sufficiently neutral to be settled also in the historical center, without reaching an original appearance (Fig. 5).

The high number of reuse cycles make SETS a virtuous artifact. Dry technology eliminates the production of waste and emissions. The lightweight of the pavilion minimizes the energetic and economic costs, during the transportation and the installation.

These features make the sustainability not only the ultimate goal of the research, but the real fulcrum around which the concept was born and has been developed. It should be emphasized that sustainability is inherent in the object, and not merely an optional,

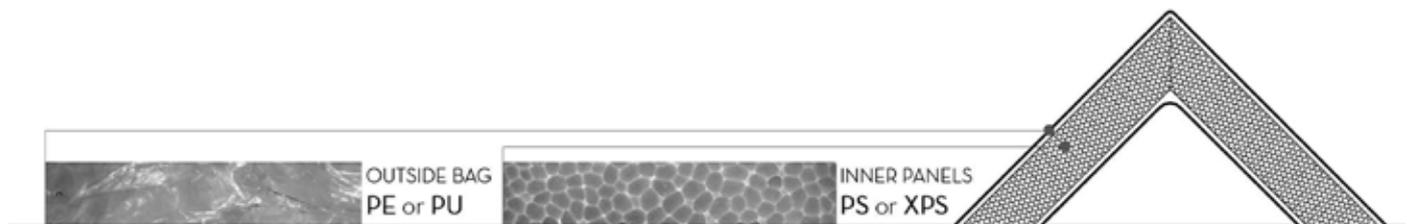
tando i vantaggi connessi a ciascuno di essi e lo smussamento delle singole criticità, costituisce un aspetto particolarmente qualificante ed al momento unico nel panorama internazionale. L'esperienza fin qui condotta ha fornito le opportune indicazioni sui temi che è necessario approfondire, per sviluppare in maniera completa il processo di produzione:

- l'analisi tensionale del modello strutturale per determinare la ripartizione degli sforzi tra gli elementi di PS e il sacco in PE;
- l'ottimizzazione del processo tecnico per ottenere la sagomatura dei pezzi;
- la risoluzione di problemi pratici, quali il possibile slittamento reciproco dei pezzi durante la decompressione.

Tali implicazioni, eminentemente di carattere pratico potranno essere risolte attraverso la realizzazione di un prototipo in dimensioni reali, programmata per il prossimo futuro. L'ANCE (Associazione Nazionale dei Costruttori Edili) di Catania ha già manifestato un certo interesse a supportare l'iniziativa, tramite il coinvolgimento di produttori di materiali polimerici, per disporre della materia prima necessaria.

06 | Dettaglio dei materiali impiegati
Detail, with the used materials

06 |



following a certain mode of virtuous use, as usually happens. Therefore, the benefits are obtained at each cycle of use, regardless of the 'goodwill' of users. SETS then follows a double result: it combines the low economic cost, due to the use of poor materials, with the reduction of environmental costs. It should be noted that while the first aspect brings the benefits immediately noticeable and makes it attractive to use by potential buyers, the second brings long-term benefits that accrue to society as a whole.

The use flexibility is possible thanks to the large area free of obstacles, which can be multiplied by composing a number of modules.

The amount of incoming air and light, as well as the amplitude of the accesses, can be adjusted by subtracting one or more meshes or by making the latter translucent, according to the need.

Experimental design

SETS's concept was born to define a conclusive thesis of the *Scuola Superiore di Catania*, an institute offering a parallel path for excellent pupils of the University of Catania (Versaci, 2013); it was developed thanks to the collaboration of three different Universities⁵. The first step was the research in the literature of this subject and the ideation of the peculiar technology. Then some preliminary tests were carried out, to assess the potential and the weakness of this innovative technology. So two models were built with different characteristics⁶.

To achieve the mesh, PS (polystyrene) foam has been used. It combines a certain lightness with a good planar resistance. As it is readily available and rather cheap, polystyrene seems to be the most suitable material for the corrugated surface. For the skin, large

sheets of PE (polyethylene) are used, since it is more available and less expensive than TPU (polyurethane) and, at the same time, it shows excellent characteristics of resistance to stress (Fig. 6).

SETS has already been presented in various public circumstances, obtaining various approvals.

At the beginning of 2012, the pavilion was presented at the international competition *Outside The Box - Low and High Technologies for the Emergencies*. The topic was about the identifying of smart designs to solve problems related to calamities. The proposed solution of SETS was awarded as the third best project⁷.

SETS also received the second prize in the final phase of *The Best Researcher Award 2013*, the annual prize for the research projects developed in the University of Catania⁸.

Conclusions

SETS is a construction based on the most advanced and innovative issues in the research field about architecture and engineering: the temporary being, the kinematics, the vacuum, the parameterization.

The synthesis of these themes into a single object, taking advantage of the benefits associated with each of them and the smoothing of individual problems, constitutes a very qualifying feature and, at the moment, unique in the international scene.

The experience so far conducted has provided the appropriate information on the topics to be explored, in order to develop the production process:

- the stress analysis through a precise virtual model to evaluate the structural behavior and the tensional distribution between the pieces of PS and the PE bag;

NOTE

¹ Dal Milwaukee Art Museum di Santiago Calatrava alla Sliding House di dRMM, dal Rolling Bridge di Thomas Heatherwick all'Insitute du Monde Arabe di Jean Nouvel, le grandi architetture contemporanee sono concepite in modo da interagire con le persone che le fruiscono, tramite sensori, cinematismi e sistemi domotici (Sapienza and Versaci, 2013).

² Nel 1650 Otto Von Guericke realizzò l'interessante esperimento per dimostrare la capacità di resistenza del vuoto, divenuto poi famoso con il nome di "Emisferi di Magdeburgo". Egli riuscì ad aspirare l'aria dall'interno di una sfera cava. Quindi sottopose ciascuna delle due metà, che componevano la sfera, al tiro di quattro pariglie di cavalli, che non riuscirono a separarle.

³ La tassellatura è un ramo della geometria che studia come discretizzare una superficie qualunque con una o più figure geometriche semplici, dette 'tasselli'.

⁴ La topologia è lo studio delle proprietà delle figure e delle forme che vengono sottoposte a deformazione, senza che si verifichino strappi, sovrapposizioni o incollature.

⁵ Il progetto SETS è stato sviluppato in tre differenti sedi. Gli studi preliminari e l'analisi dello stato dell'arte sono stati condotti presso il Politecnico di Zurigo, sotto la supervisione di Ludger Hovestadt. Gli studi esecutivi e la realizzazione dei modelli sono stati portati avanti presso la Scuola Superiore di Catania, dove verrà realizzato il prototipo, in collaborazione con Ingrid Paoletti del Politecnico di Milano.

⁶ Il primo dei modelli, in scala 1:100, ha permesso di verificare la forma di SETS nel suo insieme. Il cinematisma però si è manifestato in forma piuttosto ridotta, sia per l'inevitabile imprecisione nella sagomatura manuale delle maglie, sia per lo spessore del foglio di plastica, sovradimensionato rispetto a quello degli elementi. Il problema è stato parzialmente risolto con un secondo modello, in scala 1:20, in cui le maglie erano più grandi e formate con elementi più spessi.

⁷ La competizione è stata sponsorizzata dall'AIAC (Associazione Italiana di Architettura e Critica), da PresST/Factory (Liberio Laboratorio di Idee su Architettura/Arte/Design) e da Analist Group (software house partner della Autodesk). La giuria di valutazione era composta da Patrick Schumacher, Mario Cucinella, Hans Ibelings, Luigi Prestinenza Puglisi ed altri esperti del settore.

⁸ Il premio, alla sua seconda edizione, viene organizzato dal CAPITT (Centro per l'Aggiornamento professionale, l'Innovazione ed il Trasferimento Tecno-

- the technologic optimization linked to the smoothing mode of the pieces;
- the resolution of practical issues, such as the possible slippage and overlapping of the pieces, during the deflation. All implications will be solved by the realization of a full-scale prototype, scheduled in the near future. The prototype will undoubtedly bring important scenarios, through the involvement of a manufacturer of polymeric materials which will sponsor the realization by providing the basic material, together with ANCE (National Association of the Building Contractors) of Catania.

NOTES

¹ The Milwaukee Art Museum of Santiago Calatrava, the Sliding House of dRMM, the Rolling Bridge of Thomas Heatherwick, the Insitute du Monde Arabe of Jean Nouvel, are only some examples of outstanding, contemporary

architectures that are designed to have an interaction with the users, thanks to sensors, kinematisms and domotic systems (Sapienza and Versaci, 2013).

² In 1650 Otto Von Guericke made the interesting experience in Magdeburg to demonstrate the strength of the vacuum. Using a hollow sphere, formed by two halves, he was able to extract the inside air. Thus, he yoked four pairs of horses on each half, but without separate them.

³ The tessellation is a branch of the geometry that studies the discretization of any surface with a series of simple geometric figures, just called 'tassels'.

⁴ The topology is the study of the propriety of figures and simple shape, that are being deformed without splits, overlaps or gluing.

⁵ The SETS desing was developed in three different places. The preliminary studies and the state of art analysis

logico) dell'Ateneo di Catania. SETS è stato presentato alla competizione da un gruppo di ricerca che, oltre gli autori, comprendeva Sebastiano D'Urso ed Aurelio Ghersi.

REFERENCES

Sapienza, V. and Versaci, M. (2013), "Design parametrico e architettura sotto-vuoto", *Modulo*, n. 382, pp. 200-207.

Cachola Schmal, P. and Sturm, P. (2010), "Pavilions - Temporary prototypes", in Schittich, C. (Ed), *Small Structures*, Birkhauser, Basel, pp. 25-31.

Schittich, C. (2010), "The fascination of small structures", in Schittich, C. (Ed), *Small Structures*, Birkhauser, Basel, p. 9.

Sobek, W. (2007), "Vacuumatics - Deflated Forms of Construction", *Detail*, n. 10, pp. 1148-1160.

Knaack, U., Klein, T. and Bilow, M. (2008), *Imagine 02 - Deflateables*, 010 Publishers, Rotterdam.

Tedeschi, A. (2011), *Architettura Parametrica*, Le Pensur, Potenza.

Resch, R.D. and Christiansen, H. (1970), *The design and analysis of kinematic folded plate systems*, paper presented at IASS Symposium on Folded Plates and Prismatic Structures.

Resch, R.D. (1973), "The topological design of sculptural and architectural systems", *NATIONAL COMPUTER CONFERENCE*, University of Utah, Salt Lake City.

Huijben, F. and Van Herwijnen, F. (2008), *Vacuumatics: Vacuumatically Prestressed (Adaptable) Structures*, paper presented at 6th International Conference on Computation of Shell & Spatial Structures, IASS-IACM 2008 Spanning Nano to Mega, Ithaca NY.

Hauschild, M. and Karzel, R. (2011), *Detail Practice: Digital Processes*, Birkhäuser, Basel.

Versaci, M. (2013), "Parametric Architecture and Vacuumatics: project of lightweight SETS", *Il Progetto Sostenibile*, vol. 32, p. 95.

Valenti, A., "Protect me from where I live", *Casabella*, n. 793, pp. 2-5.

was carried out at the ETH (Polytechnic) of Zürich, at the Chair of Ludger Hovestadt (CAAD Computer Aided Architectural Design). The executive study and the models realization were developed at the SSC (Scuola Superiore di Catania), where the prototype will be realized, in collaboration with Ingrid Paoletti of the ABC (Department of Architecture, Construction Engineering and Environmental) of the Polytechnic of Milan.

⁶ The first model was realized in scale 1:100. It allowed us to verify the global shape of SETS, but it had a reduced kinematism due to the imprecision in the shaping of the meshes and to the extra-dimension of the plastic layer, compared with the polystyrene pieces. These problems were solved thanks to the second model, in scale 1:20, that was realized larger and with a thicker polystyrene elements.

⁷ The competition was sponsored by AIAC (Italian Association of Architecture and Criticism), PresST / Factory (Workshop About Architecture and Design) and Analist Group (partner of Autodesk Software House). The evaluation jury was composed by well-known specialists and designers, as Patrick Schumacher, Mario Cucinella, Hans Ibelings, Luigi Prestinenza Puglisi and others.

⁸ The award, in its second edition, is organized by CAPITT (Center of Professional Updating, Innovation and Technology Transfer) that is a Service Center of the Catania University. It is aimed at encouraging the transfer of the knowledge to industry. In this competition SETS was presented by a research group, formed by Sebastiano D'Urso and Aurelio Ghersi from University of Catania and by the authors of this article.