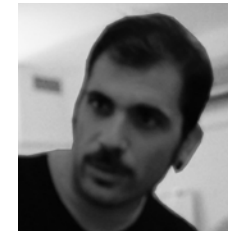




Andrea Casale

Professore presso la Facoltà di Architettura di Roma. Da sempre si occupa di problemi inerenti la geometria e la percezione con particolare attenzione per la geometria descrittiva, la sua storia e le sue applicazioni nel progetto della forma e nel suo rilievo.



Michele Calvano

Dottore di ricerca presso il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura dell'Università di Roma "La Sapienza". Svolge attività di assistenza nei corsi di Disegno, e collabora all'organizzazione delle attività del Laboratorio didattico Ce.S.M.A., per il quale tiene corsi di rappresentazione matematica e numerica.

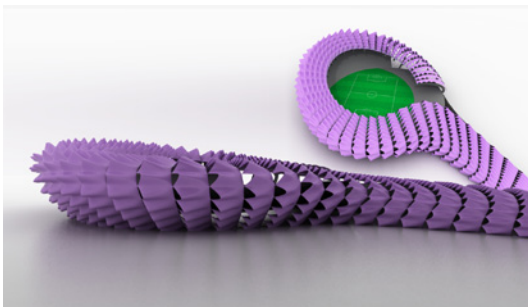
Castelli di carta. La piega per la costruzione di superfici articolate *House of cards. The fold for the construction of articulated surfaces*

L'antica arte del piegare la carta, l'Origami, sta vivendo un rinnovato interesse che coinvolge molti aspetti della ricerca. Con il termine origami, si intende lo studio del modo di piegare il foglio di carta per imporgli una specifica forma. La superficie tassellata per mezzo di specifiche pieghe, si propone come un nuovo soggetto di studio: la superficie piegata articolata. La forma congiunta al movimento, assume un particolare interesse nella contemporanea ricerca geometrica e architettonica. Il panorama contemporaneo, propone opere di architettura "responsiva", capaci di modificare le proprie caratteristiche per adeguarsi a nuove condizioni. La superficie piegata articolata sembra particolarmente adatta a descrivere questo modo d'intendere l'architettura, reagendo a diverse volontà e di conseguenza modificando la propria conformazione attraverso un attento controllo progettuale della forma.

The ancient art of folding paper, Origami, is experiencing a renewed interest that involves various aspects of research. By the term origami, we mean the study of how to fold the sheet of paper to impose a specific shape. The tessellated surface by means of specific folds, is proposed as a new subject of study called folded and articulated surface. The form and its movement, has a special interest in the contemporary architectural and geometric research. The contemporary scene, presents responsive buildings: they react to stimuli by changing their formal and functional features to adapt itself to new conditions. The folded and articulated surface seems particularly suitable to describe this way of understanding the architecture, this is because it can react to different actions by modifying, consequently, its conformation through a careful control of the shape.

Parole chiave: origami, piegare, superficie tassellata, movimento, architettura responsiva, architettura, design, forma

Keywords: origami, folding, tessellated surface, movement, responsive buildings, architecture, design, shape



1. Idea per una superficie complessa. Pannellizzazione organica della superficie.



2. World Cup 2022, Stadium. A. Speer e Partner.



3. Evolo, skyscraper competition 2010, Third Place: Nested Skyscraper di Ryohei Koike, Jarod Poenisch.

INTRODUZIONE

Le nuove tecniche di rappresentazione, di calcolo e di comunicazione stanno determinando una realtà alternativa che trova rapida diffusione grazie al web (fig. 01, 02, 03). Il web è un rapidissimo media capace di trasferire informazioni e immagini, che immediatamente entrano nell'immaginario collettivo, creando una nuova realtà globalizzata. Le nuove tecniche di produzione e gestione del processo architettonico rendono possibile il passaggio dalla realtà digitale alla concretezza del progetto.

Portali, siti, riviste digitali sono strumenti su cui mostrare l'architettura, le innovazioni formali e funzionali per il vivere e il percepire lo spazio. Il web propone un diverso rapporto con la ricerca, la sperimentazione non è più legata a specifici condizionamenti fisici ma può esprimersi in realtà decontestualizzate, attraverso forme innovative che ospitano funzioni, determinando un nuovo patrimonio culturale utile all'architettura e al design.

Le architetture non si confrontano più con i soli contesti materiali, non sono più semplici volumi giustapposti che si esprimono attraverso il gioco della luce che disegna le ombre. La velocità e la mutevolezza segnano il nostro tempo creando degli spazi fluidi in cui la gerarchia espressiva è dettata dalla qualità comunicativa che gli elementi possiedono. Comunicazione che non è mera esposizione, ma dato che influenza la forma ren-

dendo l'edificio stesso dinamico e mutevole.

In questo contesto la sperimentazione trova il suo significato più profondo, pur non volendo essere un'indicazione specifica di architettura e di design, ma mantenendo un aspetto indicativo sulle possibili declinazioni in diverse realtà, essa vuole indagare come determinare il movimento e come questo possa evolversi in nuove forme e funzioni. Il luogo dell'architettura e del design è individuato dall'inserimento nello spazio fisico di elementi mutevoli e mutanti, capaci di esprimere diverse condizioni formali e comunicative, per realizzare rapporti variabili tra la funzione e la fruizione dello spazio. L'idea è quella di rappresentare forme in grado di simulare la vita attraverso il dinamismo, avvicinando il progetto alla natura.

D'altro canto per natura e naturale intendiamo un valore aggiunto, indispensabile, che deve qualificare l'architettura e il design.

La cosa più strana è che i progettisti apprezzano della natura la sua caratteristica meno naturale, il suo presentarsi come un evento statico. Deducono da essa l'immagine, catturano il suo essere in una condizione immobile, pietrificata, colgono uno specifico momento. La natura invece è un continuo divenire, un continuo muoversi e modificarsi. Le foglie e i rami sull'albero crescono costantemente secondo specifiche regole; sotto l'azione del vento il ramo s'incurva e si oppone, ora vincendo la forza ora soccombendo, e il suo movimento dipende anche dalla distribuzione e

dalla forma delle foglie che disegnano la chioma. La più grande caratteristica della natura, il suo muoversi e il suo evolversi e modificarsi sempre, è un aspetto quasi del tutto inosservato, poco considerato nella progettazione.

Siamo stati abituati a pensare il progetto come sintesi di diverse informazioni che si cristallizzano nell'opera. Immagini, dati costruttivi, dati funzionali, scelte distributive e formali, vengono dalla mente del progettista processati e trasformati nell'oggetto statico di architettura o design.

Oggi siamo testimoni di un cambiamento radicale, dove il progettista insieme a tutti gli altri tecnici determinano un modello dinamico di architettura vivente. L'architettura non è più la conclusione di un processo progettuale, ma un momento dello stesso processo, diventando una struttura mutante nello spazio e nel tempo, "mobile" in funzione alle diverse condizioni determinate dagli input a cui è predisposta a reagire.

L'organismo architettonico è quindi capace di assumere dati, processare dati e reagire in maniera intelligente, in funzione di regole progettuali che ne determinano il comportamento. La reazione è frutto del susseguirsi di algoritmi che si alimentano l'un l'altro.

L'organismo architettonico reagisce alle condizioni climatiche orientandosi e modificandosi, in modo da assorbire in maniera ottimale i raggi del sole; varia le sue geometrie in funzione del numero delle persone che lo fruiscono o delle



attività che in esso si svolgono; si modifica per amplificare le sue qualità comunicative ed assume sempre nuovi ruoli nel composito e mutevole contesto urbano. Abbiamo un'architettura mimetica, un organismo che cambia per reagire a condizionamenti interni ed esterni.

La ricerca che qui proponiamo è il risultato del lavoro di un gruppo di ricercatori che si è voluto confrontare con la "pelle architettonica", l'epidermide che veste il corpo architettonico, la superficie che divide lo spazio interno dallo spazio esterno, la membrana che separa fisicamente funzioni diverse. Essa è un vero e proprio organo autonomo, direttamente connesso alla complessità dell'oggetto architettonico. Da sempre ha assunto una specifica importanza essendo il mezzo con cui l'architettura si relaziona con la collettività e con l'uomo che percettivamente la vive.

La pelle è l'apparato capace di mutare il suo stato per adattarsi a condizioni esterne diverse e ottimizzare la qualità di vita che si vuole all'interno del complesso architettonico. È il dispositivo capace di reagire per mimetizzarsi nel contesto urbano e nel contempo in grado di modificarsi per comunicare.

Nessuna parte dell'organismo architettonico ha subito mutamenti tecnici, funzionali e comunicativi, quanti ne ha subiti nel tempo la pelle.

Il mimetismo, può essere recepito come l'arte del camuffarsi, dell'apparire altro; nel contempo può essere inteso come l'abilità di un organismo di



4. Full museo Enzo Ferrari - I. kaliky, Shiro studio.

presentarsi in modo mutevole, rispettando diverse volontà progettuali, un modo di comunicare e assumere diversi significati. Pelli architettoniche che si presentano in maniera sostanzialmente diversa, vincolate a reagire a volontà funzionali, formali e comunicative (fig. 04, 05).

Ora noi abbiamo voluto confrontarci con questo elemento studiando le sue capacità mimetiche, le sue abilità nel modificarsi, le sue possibilità di cambiare per assolvere diverse funzioni.

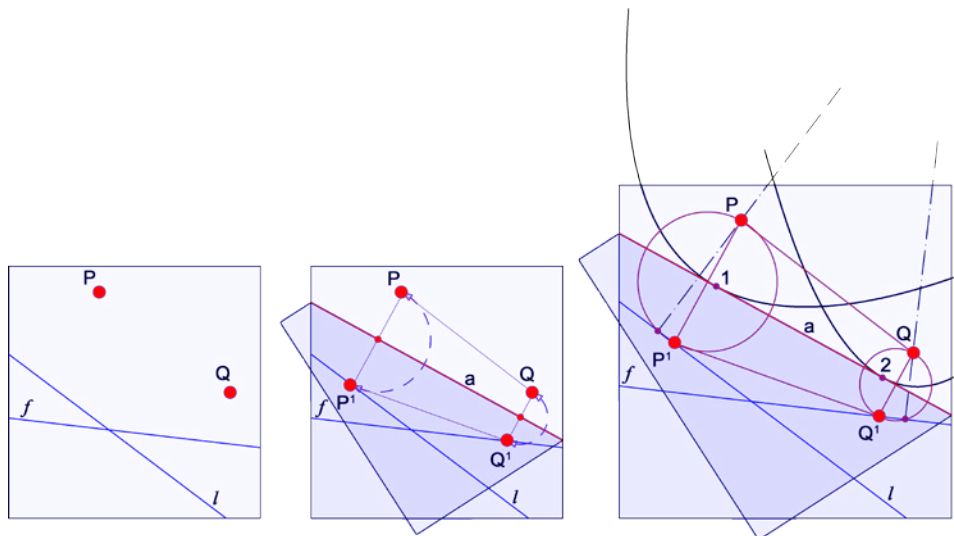
LA PELLE ARCHITETTONICA COME DISPOSITIVO MUTANTE

Nel 1970 l'astrofisico Koryo Miura presentò al simposio tenutosi a Tokyo nell'University's Insti-

5. Sede Guna, Milano - I. Sabato.

tute of Space and Aeronautical Science, il progetto di un pannello solare per satelliti spaziali composto da elementi quadrangolari uguali ripiegabili. Questi occupavano un'area non più grande delle dimensioni di uno dei pannelli modulari e inoltre l'intera struttura veniva aperta attraverso un solo movimento. Questo evento ha aperto la ricerca a quelli che vengono definiti origami rigidi e con il nome di Miura origami, sono stati battezzati tutti gli origami risultato di pieghe orientate definite da tassellazioni più o meno costanti della superficie.

Lo studio della superficie piegata ha origini molto lontane nel tempo. Con il termine origami, che deriva dal giapponese *ori* (piegare) e *kami* (carta),



s'intende l'arte di piegare la carta. Questa tradizione di piegare fogli di carta in modo da produrre figure si può far risalire alla metà del primo millennio quando i monaci buddisti importarono la carta in Giappone.

Le regole pretendono che a partire da un foglio di carta si ottenga una forma con il solo uso della piega, senza ne colla ne tagli. L'abilità sta nello scoprire tutte le possibili forme deducibili da un foglio di carta.

Negli ultimi anni le proprietà del "piegare la carta" hanno sempre più suscitato interessi presso gli studiosi che vedono in essa uno strumento alternativo alla geometria tradizionale. Infatti con il "piegare la carta" è possibile risolvere alcuni dei problemi insoluti della geometria euclidea come la trisezione dell'angolo, la duplicazione del cubo, o la costruzione di tutti i poligoni regolari fino a 21 lati.

Nel primo convegno sulla geometria degli origami tenutosi a Ferrara nel 1989 dal titolo "The First International Meeting of Origami Science and Technology", il matematico italo-giapponese Huzita insieme al matematico Benedetto

Scimemi, presentarono i primi sei assiomi su cui si basa la matematica degli origami. Ai primi sei nel 2002 il matematico Koshiro Hatori ne aggiunse un settimo e quindi da allora sono conosciuti con il nome di Assiomi di Huzita-Hatori (fig. 06). Se la geometria è la prima proprietà che si osserva nell'origami, a questa segue la simmetria, l'equilibrio e le proporzioni. Parametri estetici, tecnici e geometrici che rendono lo studio di questo modo di gestire la superficie particolarmente interessante sia per l'architettura, che per l'ingegneria e il design.

Bisogna però distinguere due tipi di origami. Il primo, legato alla tradizione, vede l'uso delle pieghe per arrivare a descrivere una specifica forma anche di notevole complessità come animali, fiori, ecc.: in essi la piega è creata per ridurre e guidare il foglio di carta, questo si sovrappone si ripiega su se stesso si ridistende fino ad ottenere la forma voluta (fig. 07). Il secondo indaga le proprietà e le possibili configurazioni spaziali della superficie una volta determinate su di essa specifiche pieghe (fig. 08).

La ricerca vuole indagare le possibili configu-



6. Assiomi di Koshiro-Hatori, dimostrazione grafica del sesto assioma.

7. Rana. Robert J. Lang 2003.

8. Tassellazione di quadrati e triangoli di un piano quadrato.



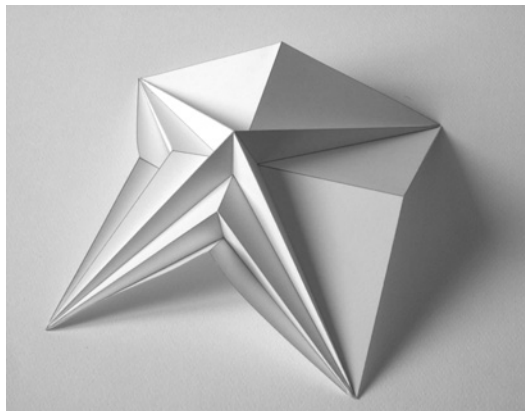
razioni che una superficie può assumere nello spazio, una volta create delle pieghe che ne permettono la trasformazione. L'elemento principale dell'origami, la piega, diventa quindi cerniera che consente il movimento; il tassello triangolare o quadrilatero è l'elemento tipico di costruzione. La porzione di superficie tassellata, risultato dell'insieme di elementi rigidi opportunamente vincolati, si propone come un nuovo soggetto di studio che abbiamo chiamato superficie piegata articolata.

Abbiamo potuto distinguere tre famiglie strutturali di pieghe che determinano tre tipologie di configurazioni a cui è assoggettabile il piano.

La prima tipologia, vede il piano sottoposto ad una tassellazione molto fitta e disordinata; il piano può deformarsi assumendo nello spazio infinite configurazioni possibili. Se prendiamo un foglio di carta e strettamente lo accartocchiamo con le mani, aprendolo e stirandolo in modo appropriato, esso assume infinite configurazioni spaziali (fig. 09). La superficie può essere indirizzata verso diverse configurazioni ma non è garantito il suo completo controllo.

La seconda tipologia, vede la superficie assoggettata ad una tassellazione composta da poligoni diversi scelti perché questa raggiunga una specifica configurazione (fig. 10).

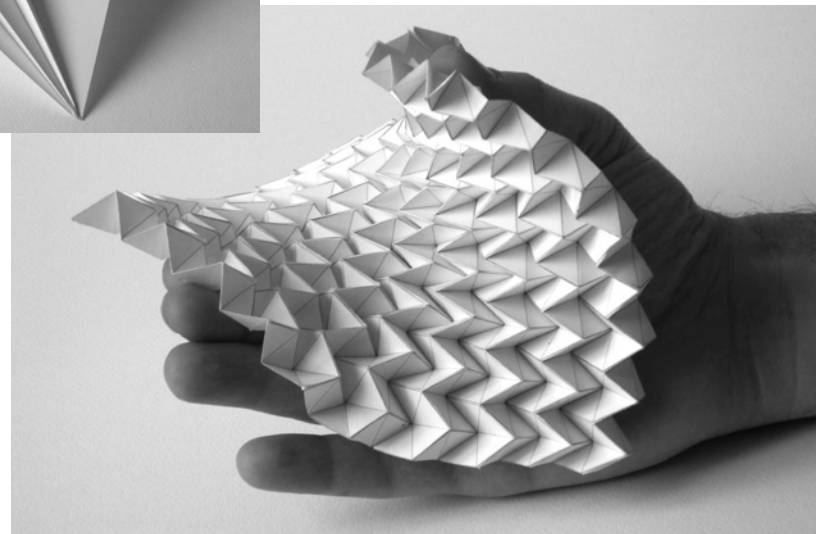
La terza, determinata dalla divisione del piano in



9. Prima tipologia. Piano sottoposto ad una tassellazione molto fitta e disordinata.

10. Seconda tipologia. Tassellazione composta da poligoni diversi. La superficie raggiunge una specifica configurazione.

11. Terza tipologia. Divisione del piano in gruppi di tasselli uguali tra di loro. La superficie assume nello spazio molte configurazioni possibili.



gruppi di tasselli uguali tra di loro, permette alla superficie di assumere nello spazio molte configurazioni possibili.

È questa terza tipologia di superficie piegata articolata che ci ha maggiormente interessato in quanto particolarmente adatta a descrivere un nuovo modo d'intendere la forma, in grado di reagire a diverse volontà e di conseguenza di modificare la propria conformazione attraverso un attento controllo progettuale.

La forma evolve entro un range di variazione compreso tra due valori, quello iniziale in cui la forma è stesa sul piano, quello finale in cui la forma non può più muoversi perché i lati o i vertici

delle parti di cui è composta si toccano. Tra questi due stati la forma assume una infinità di configurazioni possibili, ma controllabili in quanto associate da specifiche e individuabili connessioni geometriche (fig. 11).

ALCUNI ESEMPI

Le superfici che qui proponiamo sono esemplificative del percorso da noi intrapreso e descrivono come la definizione di un pattern, caratterizzato da cerniere opportunamente disposte, possa assumere nello spazio, grazie al movimento, molte configurazioni diverse.

TXTURE RETTANGOLARI

Guardiamo la figura 12. La porzione di piano rettangolare è stata suddivisa in rettangoli tutti uguali. Le linee rosse segnano le valli, i lati cerniera che si muoveranno verso il basso; le linee blu contradistinguono i monti, i lati cerniera che si muoveranno verso l'alto.

Analizziamo le proprietà di questa superficie piegata composta da rettangoli tutti uguali, incernierati per il lato lungo.

Le cerniere le permettono di adattarsi a condizioni molto diverse se pur entro i limiti determinati dai rettangoli che la compongono.

La superficie può allungarsi o restringersi traslando sul piano; assume tutte le condizioni possibili tra le due posizioni limite, completamente spianata sul piano orizzontale o piegata fino a che tutti i rettangoli che la compongono si appoggiano l'uno all'altro assumendo una posizione verticale. Possiamo appoggiare la superficie su di un cilindro. Avremo di nuovo due condizioni limite: la superficie si distende sul cilindro fino a che ogni rettangolo non ne è tangente; la superficie si raccoglie tutta lungo un piano che passa per l'asse del cilindro (fig. 13).

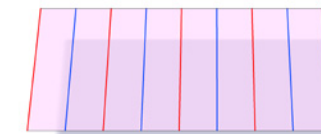
La superficie piegata si comporta come un prisma generico dotato di cerniere, quindi può appoggiarsi a una qualsiasi linea f (fig. 14).

Lo sviluppo piano della tassellazione può assumere varie forme. Il caso descritto in fig. 15 è una porzione di corona circolare. I due archi perimetrali possono essere intesi come due binari su cui scorrono i vertici. Dallo sviluppo di un cono possiamo individuare la corona tassellata in modo da avere la superficie piegata che si appoggi alla superficie conica primitiva (fig. 16). È quindi possibile passare da una condizione all'altra.

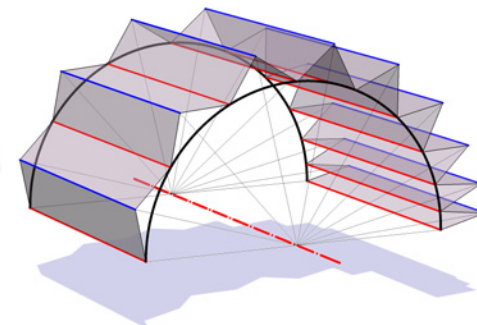
Se suddividiamo con ulteriori pieghe la prima superficie descritta, abbiamo un cambiamento radicale nelle configurazioni spaziali che essa può assumere.

Queste nuove pieghe trasversali hanno il compito di far cambiare il verso alle prime pieghe. La piega che si muove verso l'alto, una volta sorpassata la nuova piega trasversale, si muove verso il basso, così la piega monte diventa valle e la piega valle diventa monte. Diversamente, le pieghe trasver-

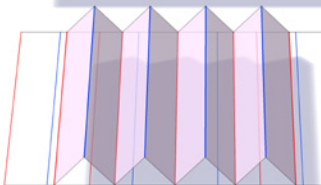
12. Porzione di piano rettangolare è stata suddivisa in rettangoli tutti uguali.



13. La superficie piegata si distende sul cilindro fino a che ogni rettangolo non ne è tangente.

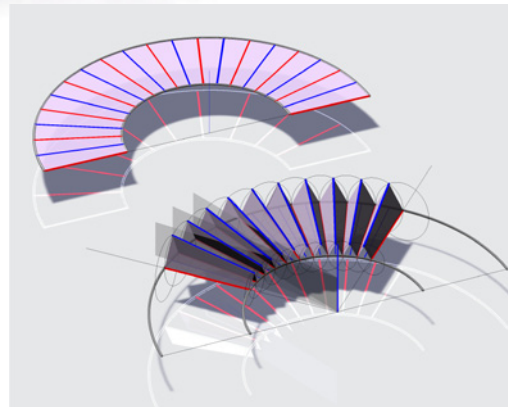
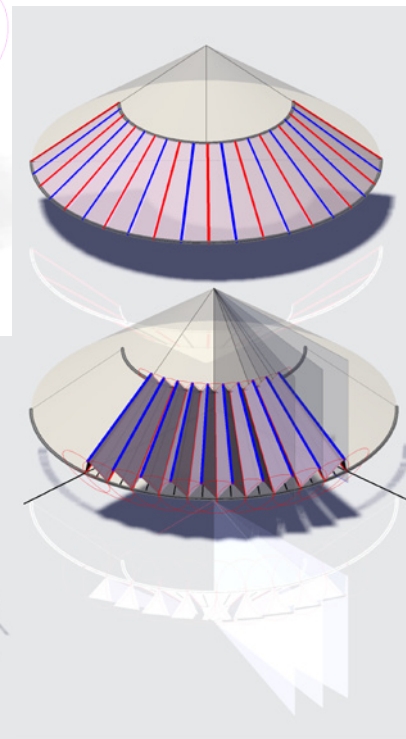
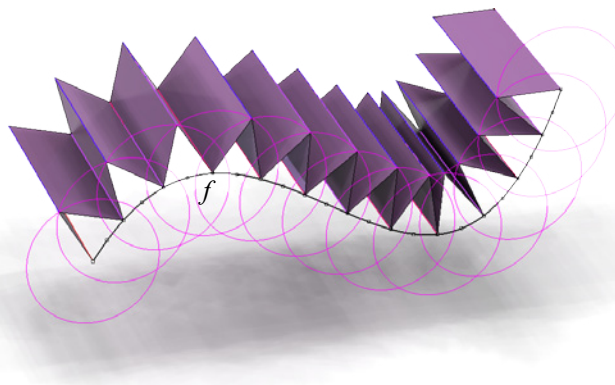


14. La superficie piegata si comporta come un prisma generico dotato di cerniere, quindi può appoggiarsi a una qualsiasi linea f .



15. Il piano tassellato è una porzione di corona circolare.

16. Il piano tassellato si appoggia su di una superficie conica.



sali incontrando le pieghe longitudinali non cambiano di verso, rimanendo monte o valle (fig. 17). Ne consegue che il movimento di una coppia di quadrilateri pretende il movimento contemporaneo di tutte le aree vincolate al verso delle pieghe trasversali. Quindi la superficie piegata segue una comune ed unica indicazione di movimento che passa dalla condizione completamente distesa sul piano, a raccogliersi fino all'accostamento (sovrapposizione) di tutte le aree che la compongono (fig.18).

La figura 19 propone una superficie risultato dell'alternarsi di pieghe longitudinali e trasversali. Sono rappresentate: la condizione della superficie completamente raccolta e il modulo di quadrilateri e cerniere aperto nel piano (fig. 20). La configurazione ultima della superficie è determinata dal verso delle pieghe trasversali.

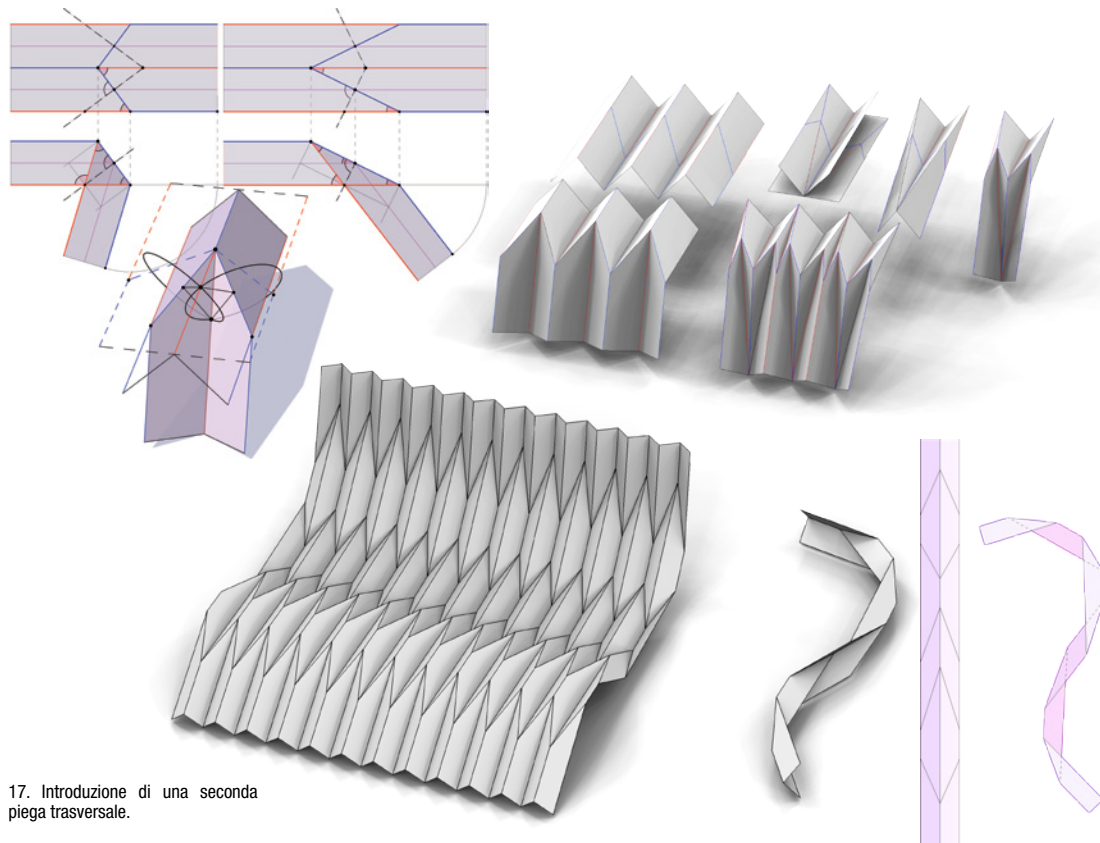
È possibile riconoscere sulla superficie due modalità di comportamento dei suoi moduli, in funzione alla disposizione che prendono le pieghe trasversali. Queste possono essere "parallele" o "contrapposte". Le prime si alternano nel verso, hanno una distribuzione a spina di pesce e la superficie una volta piegata tende a mantenere un andamento piano (fig. 21). Le seconde si contrappongono e la superficie, una volta piegata, tende a richiudersi su se stessa (fig. 22).

Ogni ulteriore piega-cerniera deve sottostare a specifiche condizioni, deve favorire il movimento del poligono verso la direzione di movimento proposto dai precedenti poligoni tra loro incernierati. Quindi la piega deve essere scelta in un ambito specifico che garantisca tutte le relazioni precedenti e successive.

Le possibili disposizioni sono determinate dalle diverse dimensioni lineari ed angolari dei poligoni ma anche dal verso delle pieghe-cerniere che li legano.

Il limite al movimento è legato alla rigidità del modulo ed è possibile fino a che i vertici o i lati di due moduli distinti non si tocchino.

Il poligono è la matrice fondamentale sia per le sue caratteristiche statiche ma soprattutto per le sue caratteristiche geometriche; la piega-cerniera garantisce il vincolo che permette il passaggio controllato da una realtà spaziale ad un'altra.



17. Introduzione di una seconda piega trasversale.

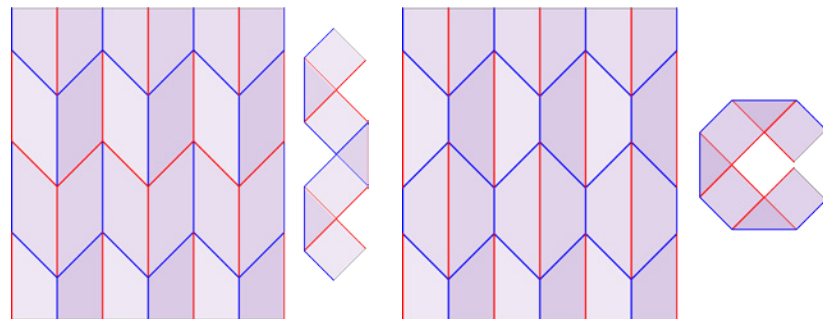
18. La superficie piegata segue una sola indicazione di movimento.

19. La superficie piegata risultato dell'alternarsi di pieghe longitudinali e trasversali.

20. Modulo di quadrilateri nella configurazione aperta e chiusa sul piano.

21. Moduli a pieghe parallele. La superficie, una volta piegata, mantiene un andamento piano.

22. Moduli a pieghe contrapposte. La superficie tende a richiudersi su se stessa.



La rigidità geometrica del poligono permette di controllare le relazioni spaziali tra i poligoni durante il movimento. I vertici, opposti al lato comune incernierato, si muovono descrivendo archi che appartengono a piani perpendicolari alla cerniera. I raggi degli archi sono la distanza dei vertici dalla comune cerniera. Ora se immaginiamo un terzo poligono incernierato al secondo, anche questo si muoverà ubbidendo alle stesse regole, ma questo movimento si somma al movimento che ha già subito il precedente poligono. Ne consegue che, in una configurazione di un certo numero di questi, il movimento di ogni poligono è vincolato e vincola i movimenti di tutti i poligoni che partecipano alla composizione.

TEXTURE TRIANGOLARI

Guardiamo la figura (fig. 23). Alla prima suddivisione della superficie, sono state aggiunte le diagonali alternate per ogni porzione rettangolare. Alternando le valli con i monti abbiamo che le diagonali sono diventate valli, mentre i lati dei primitivi rettangoli sono monti.

Due possono essere le linee di supporto che governano questa superficie piegata.

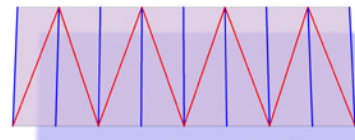
Nel disegno è rappresentata la superficie piegata, appoggiata ai due archi di circonferenza f^1 e f^2 , con raggi diversi perpendicolari all'asse a (fig. 24). Abbiamo una configurazione a tronco di cono.

Se immaginiamo le due linee di supporto come due binari che guidano il movimento della superficie piegata, questa si raccoglie riducendo gli angoli della spezzata perimetrale e si distende allargando gli stessi.

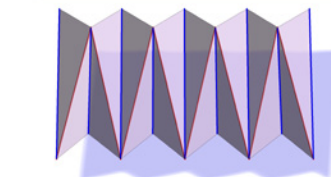
In figura (fig. 25), una simile superficie piegata è appoggiata al piano mediano orizzontale del cubo. Le rette monte hanno la stessa lunghezza delle diagonali. Muovendo la superficie questa è capace di far coincidere le due pieghe monte esterne alle due diagonali opposte del cubo. Abbiamo che la superficie piegata assume un andamento prossimo ad un paraboloido iperbolico (fig.26).

Possiamo intendere il cubo come un elemento strutturale a cui è legata la superficie piegata. Dei tiranti contrapposti spostano i vertici delle due pieghe monte più esterne fino a che questi coin-

23. Tassellatura della superficie in triangoli.



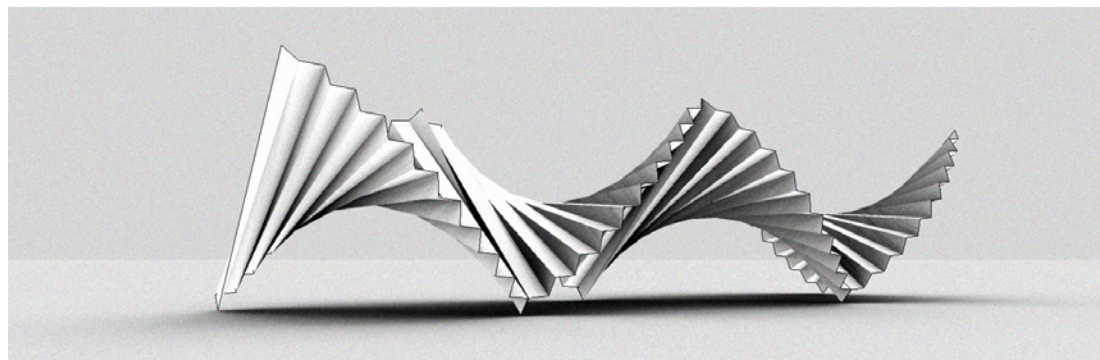
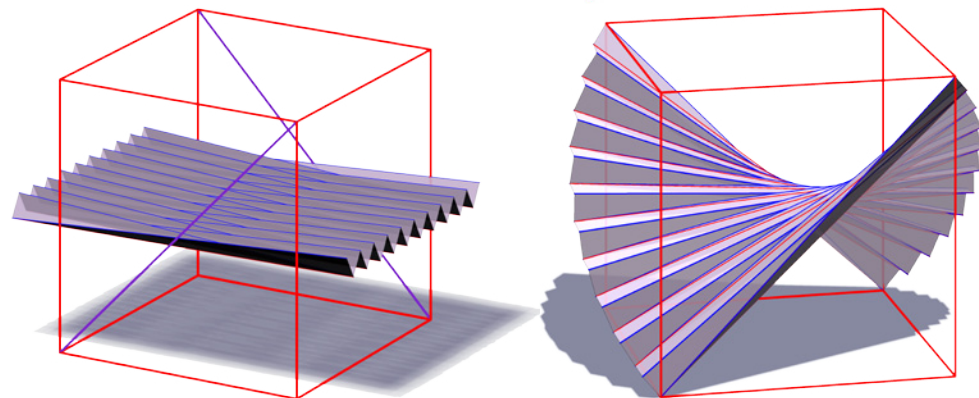
24. La superficie piegata si appoggia sui due archi di curvatura f^1 e f^2 .



25. La superficie piegata nella condizione iniziale è appoggiata ad un piano orizzontale.

26. La superficie piegata si distribuisce fino a che le due linee monte esterne si appoggiano alle diagonali del cubo. Assume una conformazione simile ad un paraboloido iperbolico.

27. Sequenza di superfici piegate articolate a texture triangolari.



cidano con i vertici delle due diagonali. Abbiamo così guidato il movimento di questa superficie. In una prima fase essa è orizzontale, ma poi cambia le sue geometrie fino a definire la nuova forma (fig 27).

La sua realizzazione è molto semplice, i triangoli sono tutti uguali e legati tra di loro da cerniere.

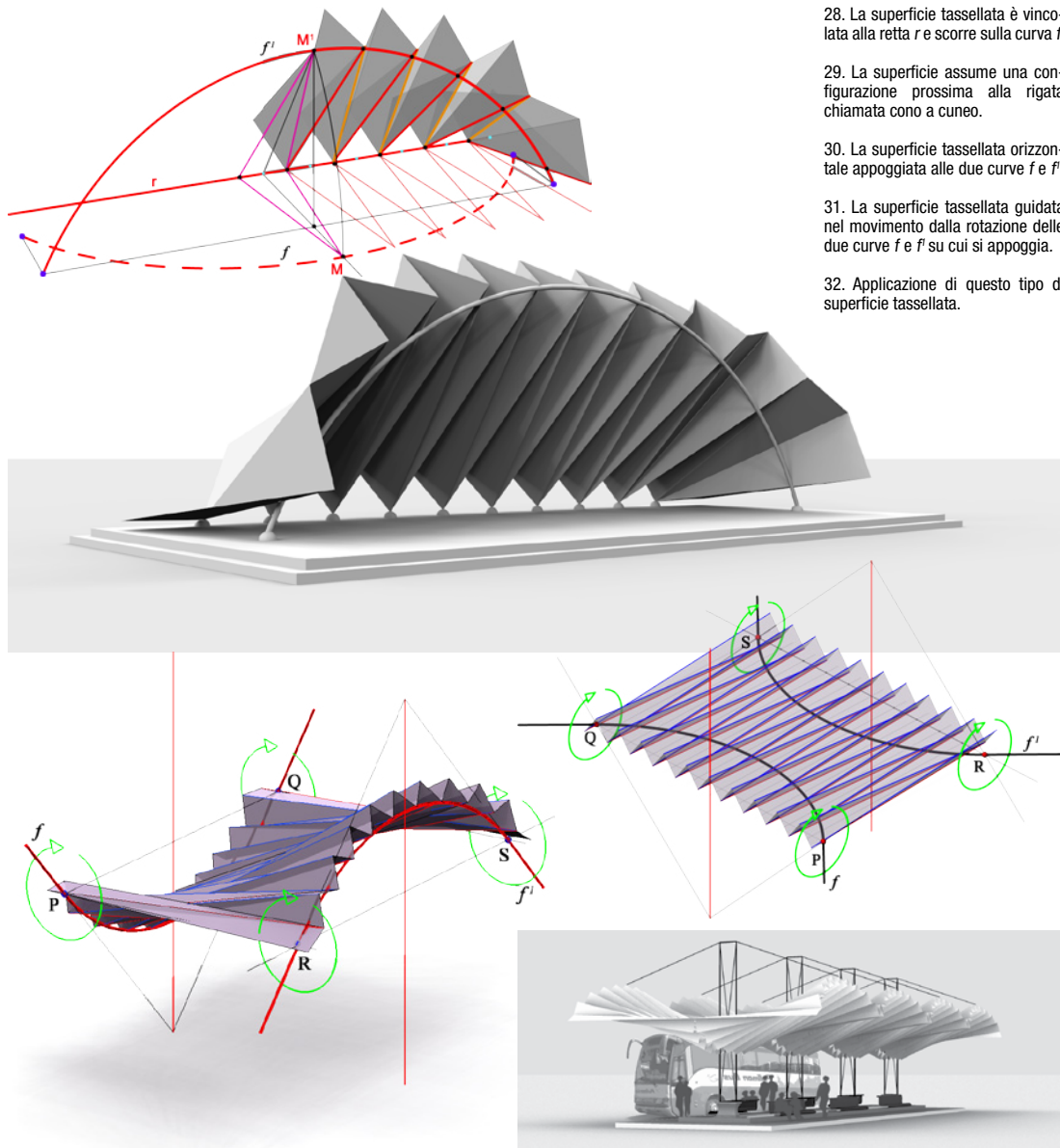
In fig 28. la superficie piegata, formata da triangoli longitudinali, è incernierata alla retta r e il vertice comune alle due pieghe valle centrali è agganciato al punto medio M dell'arco f . Il movimento dell'arco da f a f' determina la nuova configurazione per la superficie piegata. La struttura, nella sua condizione iniziale si presenta come una superficie piegata appoggiata al piano orizzontale, ma grazie al movimento dell'arco f si adatta ad assumere una configurazione prossima a quella della rigata chiamata cono a cuneo (fig. 29).

Nella figura 30 sono presenti due curve f e f_1 opposte, che sono originariamente orizzontali ma che, grazie ad un meccanismo ancorato nelle due coppie di punti P, Q e R, S ruotano. Se la rotazione avviene secondo la medesima direzione il colmo della prima curva f si abbassa, il colmo della seconda f' si alza. Una superficie piegata posta sulle curve modifica la sua configurazione spaziale seguendo il loro movimento.

La superficie piegata, da una condizione piana arriva a descrivere nello spazio, attraverso il movimento continuo delle due curve d'appoggio, configurazioni simili a superfici rigate a piano direttore (fig. 31).

La figura 32 propone l'uso di questa superficie piegata per coprire uno spazio pubblico. Attraverso il meccanismo che governa la posizione delle due curve, la superficie piegata assume in continuità le sue configurazioni. Oltre alla condizione piana o prossima alla rigata che abbiamo descritto, essa può incurvarsi fino a raggiungere una posizione cilindrica, concava o convessa, a secondo della posizione dei colmi dei due archi.

Le trasformazioni che subisce la superficie nel raggiungere le diverse forme è di tipo continuo senza nessuno strappo o sovrapposizione durante il passaggio tra le diverse configurazioni: la superficie tassellata descrive una forma topologica. Da quanto brevemente descritto si può già dedur-



28. La superficie tassellata è vincolata alla retta r e scorre sulla curva f .

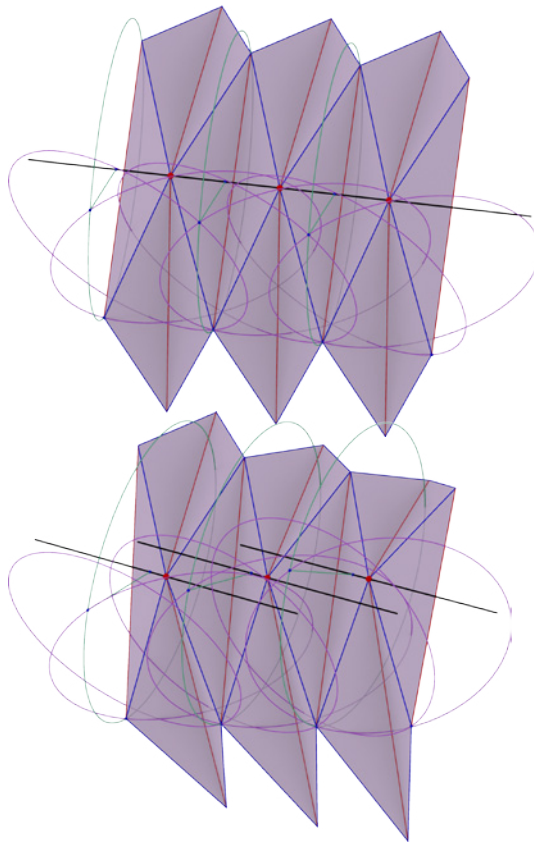
29. La superficie assume una configurazione prossima alla rigata chiamata cono a cuneo.

30. La superficie tassellata orizzontale appoggiata alle due curve f e f' .

31. La superficie tassellata guidata nel movimento dalla rotazione delle due curve f e f' su cui si appoggia.

32. Applicazione di questo tipo di superficie tassellata.

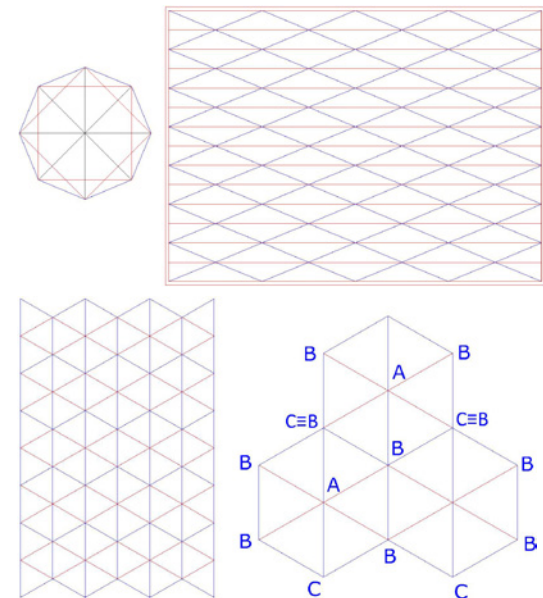
re che le caratteristiche geometriche del modulo che determina la tassellazione, influenzano in modo sostanziale le possibili configurazioni che la superficie piegata può assumere nello spazio. Se la tassellazione è formata da moduli quadrilateri la superficie può assumere tutte le configurazioni comprese tra i le due condizioni limite, o completamente distesa o completamente ripiegata fino a che le parti non si appoggino le une sulle altre. La superficie ubbidisce ad una sola indicazione di movimento, i vertici analoghi si spostano mantenendo il parallelismo con il piano su cui inizialmente è appoggiata la superficie. Possiamo dire che la superficie segue una direzione rettilinea ripiegandosi su se stessa. Il movimento imposto su due vertici si ripercuote in maniera analoga su tutti i vertici che compongono l'intera superficie. Dal punto di vista progettuale abbiamo la possibilità di studiare, attraverso l'ultimo modello completamente ripiegato, la forma che guida l'organizzazione dei moduli e dedurre facilmente le possibili configurazioni intermedie. Se la tassellazione è formata da moduli triangolari, la superficie assume ulteriori gradi di movimento. Oltre al movimento secondo la direzione rettilinea, che accompagna la superficie nelle sue due condizioni limite da completamente distesa a completamente raccolta, essa può torcersi ubbidendo a nuove e diverse forze. La riduzione del numero di lati influenza direttamente il movimento (fig.33, 34). Ogni pezzo rispetto ai suoi contigui può seguire diverse alternative di movimento e la superficie è capace di assumere nello spazio configurazioni seguendo differenti scelte. Diventa necessario individuare le geometrie di movimento di ogni parte. Poi dobbiamo individuare come le geometrie di movimento interagiscono tra di loro per un numero limitato di parti. Quindi dobbiamo sperimentare tutte le possibili varianti che si possono generare da queste geometrie e quali sono i vincoli oltre ai quali la struttura, ancora limitata ad alcuni pezzi, va in crisi. Successivamente, usando un notevole numero di pezzi, generare le condizioni complessive guidate dalle geometrie di movimento (traslazione e rotazione) e verificare la loro contemporanea attuazione, fino a pervenire alla condizione ultima



di collasso della struttura.

Lo studio e la rappresentazione di queste superfici piegate pretendono la contemporanea applicazione di tutti i metodi di rappresentazione. Dal modello bidimensionale al modello parametrico passando per il modello fisico. Il modello bidimensionale viene ridotto ad una condizione di massima sinteticità. È indispensabile controllare sul piano le due condizioni limite che la superficie può assumere. È una rappresentazione schematica dove viene indicato (con colori diversi) gli andamenti, il verso che la piega deve assumere nello spazio (fig. 35).

Castelli di carta. La piega per la costruzione di superfici articolate.



33. Movimento della superficie tassellata da moduli triangolari. Scorrimento lungo una linea.

34. La medesima superficie, sollecitata diversamente si distribuisce in modo obliquo.

35. Schemi grafici di due superfici tassellate con moduli triangolari.

36. Ulteriore suddivisione dei reiangoli seguendo geometrie dedotte da quelle principali.

Si può parlare di tassellatura o texture, che ha come matrice di base quelle che sono le naturali divisioni del piano in poligoni semplici che non ammettano spazi vuoti.

Questi poligoni possono essere ulteriormente divisi seguendo geometrie dedotte da quelle principali. Il modulo è costituito dal gruppo di poligoni e pieghe orientate, prima che questi si ripetano nella texture (fig. 36).

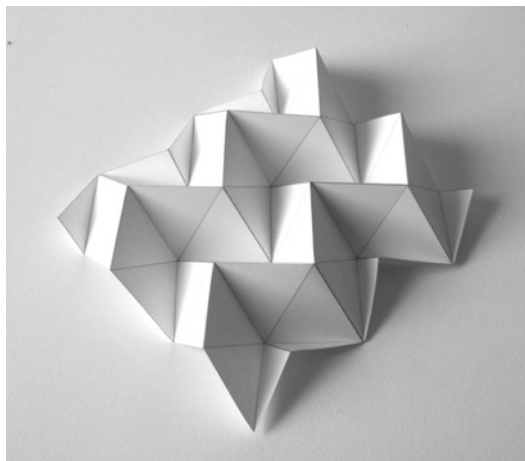
È a questo punto che diventa indispensabile l'uso del modello fisico. Questo ci permette di verificare la correttezza delle nostre deduzioni, di verificare come il movimento del pezzo minimo

e del modulo si ripercuote nello spazio, quali condizionamenti governano il loro movimento (fig. 37, 38).

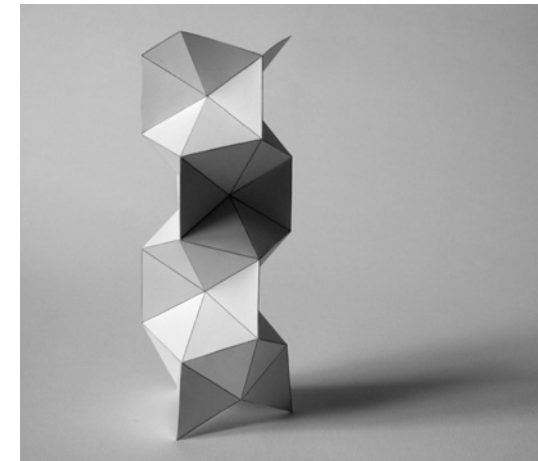
Ecco che approdiamo all'unico strumento capace di controllare e rappresentare un oggetto dotato di tale libertà di forma e di configurazione spaziale, il modello parametrico. Controllare, perché possiamo imporre i legami di movimento tra le parti; rappresentare, perché ci permette di verificare le qualità formali che la superficie piegata assume con il movimento nel tempo, seguendo le indicazioni progettuali imposte. Si è quindi scelto un software parametrico nodale, con esso è possibile progettare la superficie dotata di movimento, come il risultato di un sistema di regole, un algoritmo (39). La forma mobile è il risultato degli input, che attraverso una sequenza logica e finita di istruzioni elementari, viene processata ed elaborata dal computer. Per chiarirci, si è usato un linguaggio che sintetizza il codice scritto per mezzo di moduli pre-impostati che razionalizzano il processo in algoritmi elementari diversamente collegati in un codice risolutivo. I moduli sono divisi in parametri o componenti, i primi sono destinati a contenere codici di dati costanti o variabili, i secondi a compiere azioni sui dati. La gestione contemporanea dei codici e delle loro reazioni permette di gestire la complessità delle geometrie e delle forme che queste superfici piegate in movimento pretendono.

Il sistema nodale è stato usato come strumento capace di reiterare le relazioni geometriche tra i moduli atte a garantire il cinematismo tra le parti. Relazioni geometriche applicate a sistemi di riferimento a loro volta mobili, in quanto legate alle differenti posizioni che il meccanismo cerniera assume durante il movimento generale della forma. Il movimento è legato sia alla variazione di una singola aggregazione modulare che ad azioni svolte sull'intera forma. Parametrizzando queste azioni, si interviene sulla configurazione complessiva, creando delle variazioni intimamente legate al disegno della superficie articolata. L'efficienza cinematica del sistema è legata a poche variabili che lo governano (fig. 40).

Per risolvere il problema del movimento si è scelto di sostituire le relazioni matematico-computa-

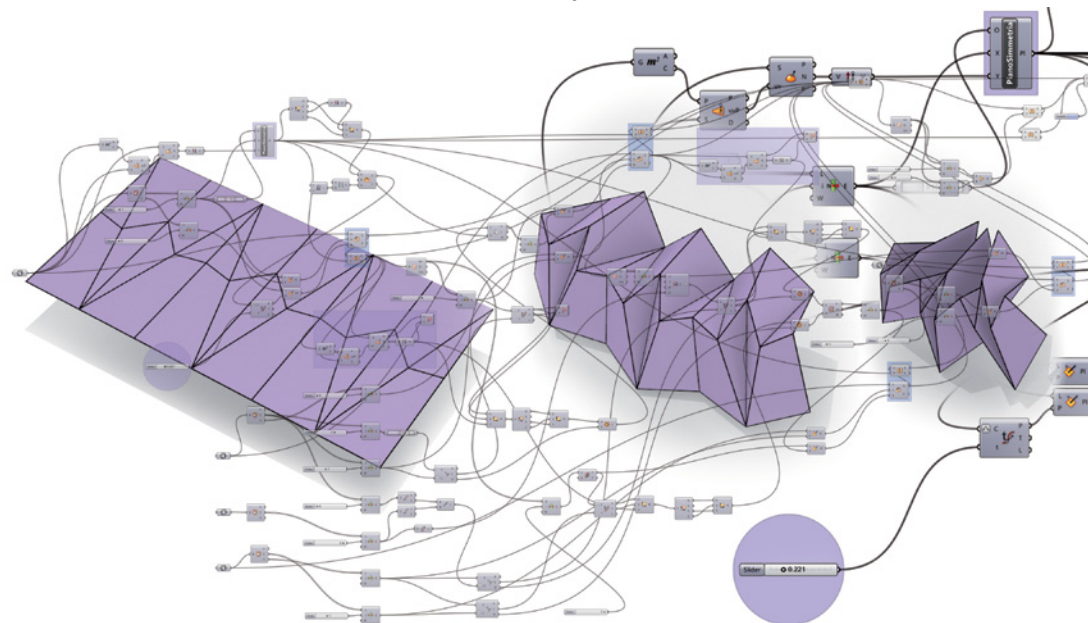


37. Modello fisico di una superficie piegata e articolata.



38. Modello fisico di una superficie piegata e articolata.

39. Sistema nodale per la progettazione ed il controllo della superficie piegata.



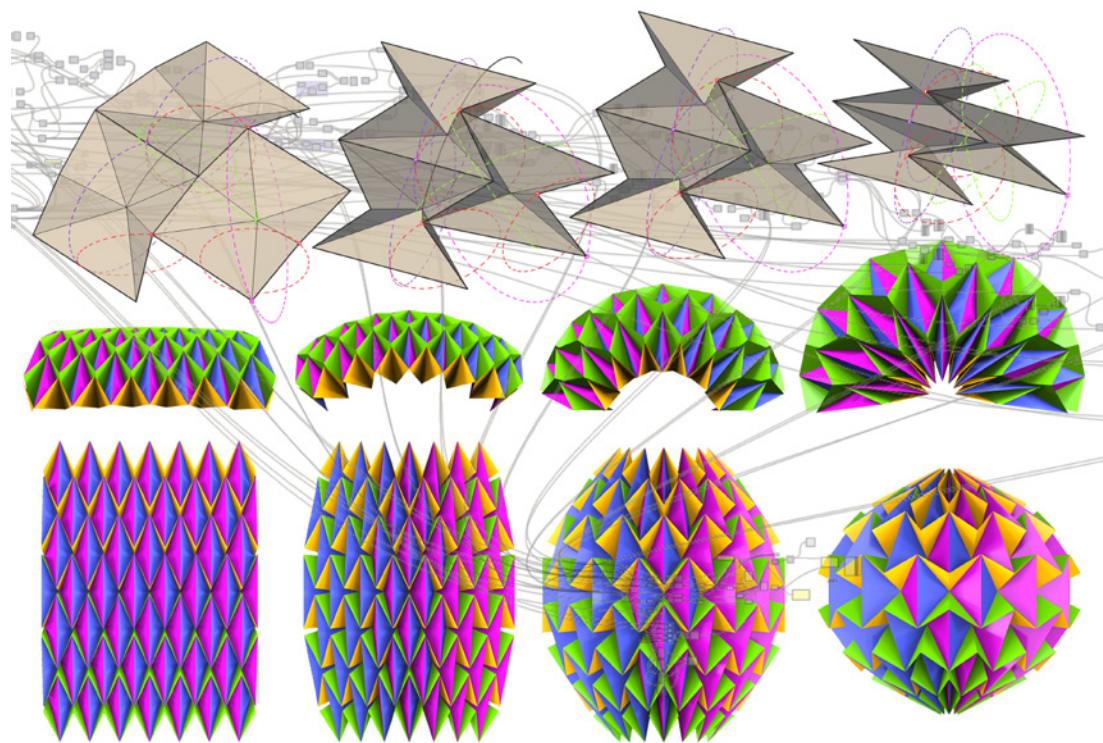
zionali con algoritmi geometrici. Questo approccio al problema ci ha dato la possibilità di un puntuale controllo della forma e delle sue possibili configurazioni facendo diventare il modello digitale, un prototipo virtuale da cui estrapolare i principi che governano la superficie articolata.

Le nostre sperimentazioni trovano applicazione nell'architettura e nel design. Queste superfici se orizzontali possono coprire, se verticali possono schermare. Il movimento è direttamente vincolato a specifiche volontà progettuali.

Abbiamo una pelle architettonica capace di reagire alle sollecitazioni, rispondendo in maniera programmata e progettuale ad esse; nel contempo è adatta ad agire in maniera diversa, descrivendo altre realtà che rispondono a volontà estetiche.

Il panorama contemporaneo, tra le tante sperimentazioni propone opere di architettura "responsiva": opere capaci di reagire a stimoli, modificando le proprie caratteristiche formali e funzionali per adeguarsi a nuove condizioni. Il progettista indica attraverso algoritmi come l'architettura deve reagire alle diverse sollecitazioni contestuali o programmate; l'architettura ubbidisce ai nuovi input trasformandosi.

Input costruiscono e gestiscono la superficie piegata articolata. La definizione parametrica, oltre che specificare il comportamento della superficie in funzione di dati esterni, si arricchisce di nuove informazioni che gestiscono il suo comportamento formale, percettivo e comunicativo.



40. Parametrizzando le azioni, si interviene sulla configurazione complessiva, creando delle variazioni intimamente legate al disegno della superficie articolata. L'efficienza cinematica del sistema è legata a poche variabili che lo governano.

BIBLIOGRAFIA

Casale, Andrea. Valenti, Graziano Mario. Calvano, Michele (2011). Tra rappresentazione e fabbricazione, dalla costruzione del modello al modello costruito, in *Le vie dei mercanti. SAVE Heritage Safeguard of Architectural, Visual, Environmental Heritage*, La Scuola di Pitagora s.r.l., vol. 10, pp.1-9, ISBN 978-88-6542-046-1

Casale, Andrea (2010). *Geometria Creativa. Intuizione e ragione*

del disegno dell'oggetto. In *Nuovi quaderni di Applicazioni della Geometria Descrittiva*, vol. 5, Kappa, Roma, ISBN 978-88-6514-040-6

Baglioni, Leonardo (2009). I poliedri regolari e semiregolari con un approfondimento sulle cupole geodetiche, In *Migliari, Riccardo, Geometria descrittiva - Tecniche e applicazioni*, vol II, CittàStudi - De Agostini, Novara, pp.299-421, ISBN 978-88-251-7330-7

Salvatore Marta, Trevisan Camillo (2009). *Stereotomia della pietra,*

In *Migliari, Riccardo, Geometria descrittiva - Tecniche e applicazioni*, vol II, CittàStudi - De Agostini, Novara, pp.485-561, ISBN 978-88-251-7330-7

Issa, Rajaa (2009), *Essential Mathematics for Computational Design*. Robert McNeel & Associates.

Loria, Gino (1912). *Poliedri, curve e superfici secondo i metodi della geometria descrittiva*. Milano: Hoepli.

Valenti, Graziano Mario (2007). *HySpace: spazio virtuale parametrico per la fruizione interattiva di mo-*

delli digitali. In *Sistemi informativi per l'architettura*, Alinea, pp.600-605, ISBN 978-88-6055-135-1

Valenti, Graziano Mario (2008). *HySpace 0.2*. In Unali, Maurizio. *Lo spazio digitale dell'architettura italiana, idee, ricerche, scuole, mappa*. Kappa, pp.222-225, ISBN 978-88-7890-764-5

Valenti, Graziano Mario (2004). *MI Il modello integrato*. In *Migliari, Riccardo. Disegno come Modello*. Kappa, 2004, pp.59-62, ISBN 978-88-7890-605-1

Valenti, Graziano Mario (2008). *De.form.are - De.form.ing.* . Rdesignpress, Roma, pp.1-195 ISBN 978-88-89819-16-6