MODELLI DI BIONICA

Capire la natura attraverso i modelli

a cura di Giorgio Scarpa



Modelli di bionica a cura di Giorgio Scarpa

> G. SCARPA Modelli di bionica ZANICHELLI

8162000



Quaderni di design 13

Modelli di bionica

a cura di Giorgio Scarpa

Copyright © 1985 Nicola Zanichelli Editore S.p.A., Bologna

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento totale o parziale, con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche) sono riservati per tutti i paesi

Redazione: Vanna Rossi

Assistenza grafica: Anna Maria Zamboni

Collaborazione di Giorgio Cireddu ed Ezio Foschini per le fotografie, e di Pino Trogu per l'esecuzione di alcuni disegni.

Prima edizione: settembre 1985

Ristampa:

4 3 2 1 1985 1986 1987 1988

Stampato dalla Grafica Ragno Via Piemonte 12, Tolara di Sotto (Ozzano) per conto della Nicola Zanichelli S.p.A. Via Irnerio 34, 40126 Bologna

SOMMARIO

- 6 Bionica

 - 11 II problema16 Prime osservazioni
 - 21 L'analisi visiva

 - 30 Che cosa non si deve fare
 33 Correlazioni proporzionali
 75 Il guscio
 80 Il riccio di mare
 120 Elenco di parti ancora da studiare
 - 120 Bibliografia

Bionica

Con il termine «bionica», la cui radice greca bios significa «elemento vitale», si vuole intendere lo studio dei prototipi biologici dei principi di funzionamento che operano nelle cose della natura, al fine di usare le conoscenze che ne derivano nella progettazione di sistemi artificiali. Fare della bionica significa: studiare i sistemi viventi per imparare a conoscere come funzionano: imparare ad applicare alla soluzione di problemi tecnici ciò che si è imparato a conoscere dei sistemi viventi. Lo studio bionico può anche essere visto come uno strumento particolarmente interessante che ci aiuta a guardare meglio. ad osservare più a lungo ed efficacemente. a valutare in modo meno approssimativo le percezioni ed informazioni di tipo visivo, ed anche a renderci più consapevoli delle percezioni tattili, auditive, e olfattive, e rendere più ricca e stimolante la nostra conoscenza dei fenomeni naturali. Infatti nel domandarci che cosa si può imparare da un animale che si muove, salta o striscia o nuota, dalla forma delle radici, o di un guscio d'uovo o dei pesci... è già almeno in parte implicita una risposta: più attenzione. consapevolezza, interesse per la stranezza e bellezza percepibili nei fenomeni della natura. C'è da chiedersi comunque se esiste una materia di studio che si chiama «bionica» codificata in base a certi schemi interpretativi dei fenomeni che in essa sono trattati, fatta di regole comunemente accettate dagli studiosi, e che da essi, dalle loro esperienze, viene scoperta, interpretata, spiegata, fatta oggetto di comunicazione aperta a chiunque. Si può a questo proposito pensare che la bionica sia appena ai suoi inizi, che coloro che si occupano di problemi bionici, si trovino al principio di una esplorazione che sarà certo molto faticosa e la cui durata nel tempo non è prevedibile; così come imprevedibili si può immaginare che potranno essere, e già in gran parte lo sono, i risultati di questa ricerca, i quali rappresentano un po' i primi segni impressi sopra un terreno quasi del tutto sconosciuto.

Ma nonostante queste difficoltà, bisogna dire però che le risposte a problemi che nel passato non si sapeva come affrontare sembrano oggi più vicine. Più a portata di mano sembra, per esempio, essere l'antica aspirazione dell'uomo di poter sostituire tessuti, organi, parti del corpo che non funzionano più, con pezzi di ricambio efficienti derivati dagli studi bionici.
Un esempio è dato dalla possibilità di studiare con l'uso di tecnologie aerospaziali la struttura delle ossa umane per ricavarne dei modelli funzionali.

Scopo di queste ricerche è di realizzare dei pezzi di ricambio per lo scheletro umano dotati di caratteristiche tali da variarne il meno possibile l'equilibrio funzionale strutturale, se utilizzati in sostituzione dei pezzi originali. Per cercare di curare con sempre maggiore efficacia le ustioni gravi vengono condotti esperimenti per realizzare nuovi tipi di pelle sintetica dotati di caratteristiche funzionali simili a quelle della pelle umana.

Si progettano occhi elettronici, si studiano dispositivi per ridare l'udito, si costruiscono cuore, arterie, tendini, articolazioni artificiali, e arti comandati da computer.

Si studia il movimento della mano umana per dotare i robot di una mano universale in grado di afferrare qualsiasi oggetto.

Nella varietà delle ricerche attualmente in corso, la ricerca di tipo meccanico si basa sulla scomposizione e sull'analisi di tutti gli elementi che costituiscono il movimento di afferrare un oggetto, ed ha come punto di partenza lo studio di tutte le possibili forme degli oggetti manipolabili dalla mano per definire i punti di presa ottimali.

Si costruiscono macchine che saltano, che si mantengono in equilibrio solo se compiono dei balzi simili a quelli di un canguro. Macchine che camminano nascono dallo

studio della forma di locomozione tipica degli insetti.

La costruzione di questi prototipi è resa possibile dall'uso di mezzi quali la cinematografia ultraveloce ed i microelaboratori. Per esempio, riprese cinematografiche ad alta velocità consentono di rivelare il movimento radente, senza problemi di equilibrio, determinato dalle sei o più zampe di cui sono dotati gli insetti, metà delle quali possono essere impiegate per assicurare con continuità l'appoggio su almeno tre punti.

I microelaboratori permettono il controllo

funzionale di queste macchine dotate di gambe.

Gli esperimenti condotti con questi dispositivi fanno capire meglio la dinamica dei movimenti del camminare, del correre, del saltare, Ancora, gli insetti col loro corpo protetto da una serie di strati di pelle che formano una struttura rigida chiamata esoscheletro, possono offrire interessanti informazioni allo studio bionico. L'analisi, lo studio, la riproduzione artificiale per mezzo di modelli di questo rigido involucro protettivo, che può anche essere di notevole spessore e che diventa sottile e flessibile nei punti in cui si trovano le membrane articolari che permettono i vari movimenti del corpo, può rivelarsi una interessante fonte di idee progettuali.

Modelli per lo studio bionico sono le piante che devono resistere a sforzi meccanici di diversa natura, che crescono, consolidandosi dall'interno, nella direzione precisa delle forze che agiscono su di esse.

Nell'opera incessante di moltiplicazione e diffusione delle specie vegetali, i mezzi, i modi, i meccanismi impiegati dalla natura nella disseminazione rappresentano la componente forse più fantasiosa ed imprevedibile di tutto il processo riproduttivo.

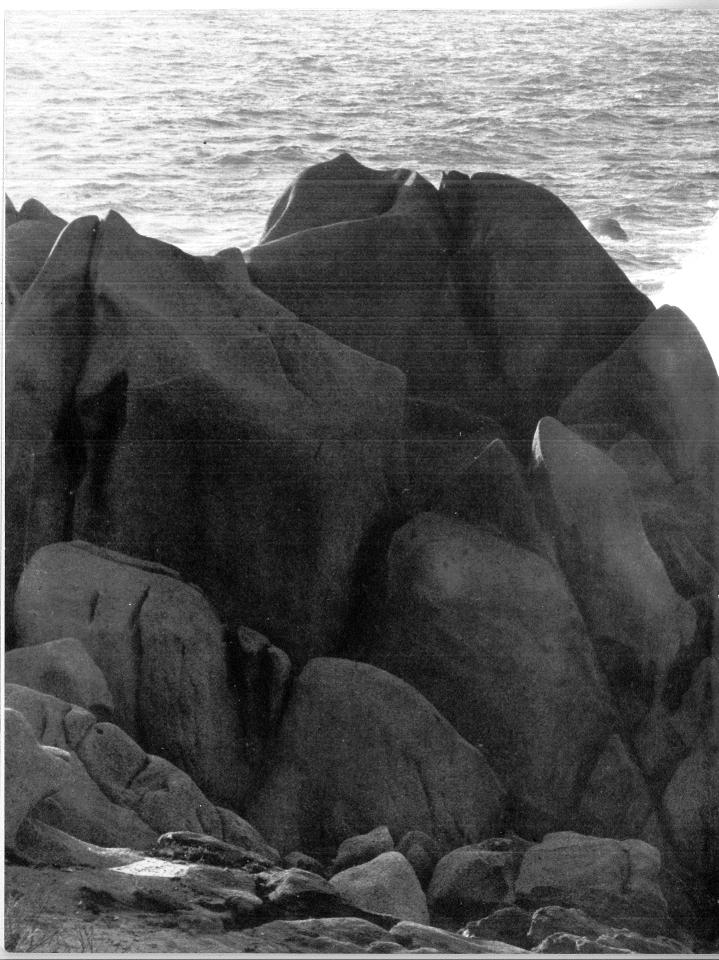
Studiare certe sorprendenti proprietà costitutive dei meccanismi di dispersione dei semi può essere utile per raccogliere nuove interessanti e stimolanti informazioni. Può anche succedere che un apparecchio nato da rigorosi studi di fisica, capace di concentrare la luce e di funzionare come un raccoglitore di energia solare sia una scoperta che la natura ha già fatto da oltre 200 000 000 di anni.

Un accumulatore di luce con caratteristiche analoghe è infatti costituito dall'occhio di un antichissimo artropode marino, il limulo, un fossile vivente per certe sue caratteristiche, più prossimo ai ragni e agli scorpioni che ai crostacei.

Naturalmente bisogna fare una distinzione fra gli innumerevoli oggetti che la natura offre allo studio bionico valutando con attenzione i problemi che potrebbero nascere in una scelta affrettata magari eccessivamente ottimistica.

Una foglia, un seme, il guscio di una

conchiglia, un germoglio, sono oggetti di studio facilmente reperibili che possono stimolare la curiosità e rappresentare quindi un punto di partenza per incominciare a conoscere alcuni degli innumerevoli aspetti che caratterizzano le forme naturali.







Echinus esculentus (riccio di mare).

IL PROBLEMA

All'inizio c'è un problema che deve essere affrontato, definito, e in seguito, se sarà possibile, risolto.

Gli elementi di incertezza, di perplessità, possono essere numerosi e diversi tra loro. Per prima cosa bisogna capire bene le difficoltà, mettere a fuoco gli obiettivi che ci si propone di raggiungere, cercare di chiarire per quale scopo si prenderanno delle decisioni. L'analisi del problema deve aiutarci ad individuare, a valutare, a modificare le soluzioni possibili; a cercare, sperimentare, scegliere quando necessario, nuove soluzioni. Tuttavia, in questa fase iniziale, non è facile avere una chiara percezione della natura del problema.

Non è nemmeno sicuro se vi sia un solo problema o più problemi e quali essi siano. Non è quindi facile, affrontando un problema, individuare da che cosa si deve incominciare, che cosa si deve tenere e che cosa scartare. Bisogna cercare di individuare i punti di partenza, i modi più efficaci di procedere, scoprire ciò che può portarci in direzioni promettenti.

Non c'è una sola direzione secondo la quale si deve procedere per incominciare a costruire una qualche forma di conoscenza relativa all'oggetto che si è scelto di studiare.

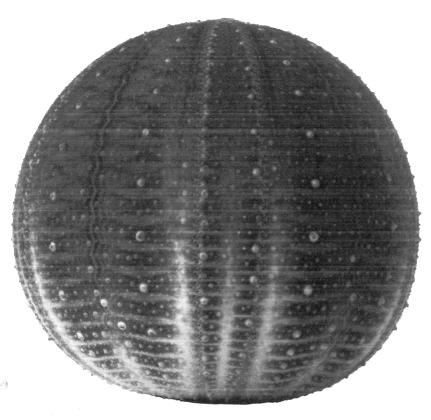
Non è neanche mai del tutto certo che quello che si vede e si pensa dell'oggetto di studio coincida con un reale problema ad esso collegato.

Un problema di cui riteniamo importante la soluzione può perdere il rilievo che gli si attribuisce quando cambiamo il modo di affrontarlo.

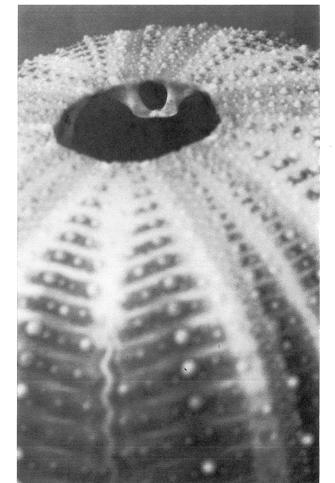
Al contrario, da un problema apparentemente poco interessante possono nascere sviluppi imprevisti.

Aspetti rilevanti di un problema possono essere celati da una modesta difficoltà che blocca un passaggio determinante per la sua soluzione.

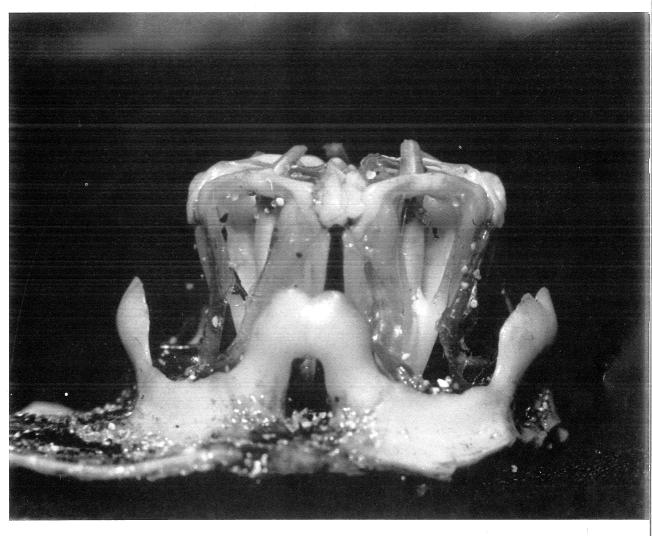
Spesso si deve studiare a lungo un problema prima di essere in grado di risolverlo. Non vi sono scorciatoie, metodi speciali, bacchette magiche che consentono di arrivare più rapidamente alla sua soluzione.



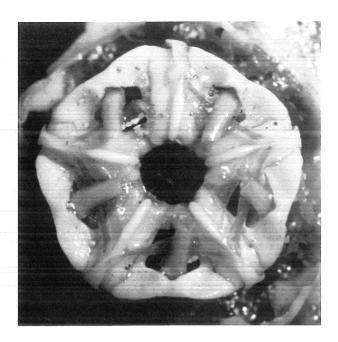
Guscio di riccio di mare privo di spine.



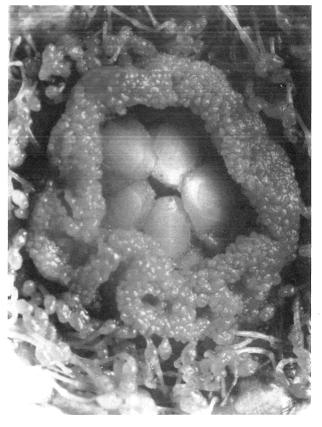
Lo stesso guscio rovesciato. Si vede l'apertura boccale.



Struttura calcarea complessa che permette al riccio di ingerire il cibo e di scavare nicchie nelle rocce sottomarine.



La stessa struttura vista dall'alto.



La struttura vista dal basso. Si vedono cinque denti parzialmente sovrapposti al centro di un'area membranosa che circonda la bocca.



Parti calcaree che formano la struttura scheletrica. Lo spillo mostra la dimensione delle parti.

PRIME OSSERVAZIONI

La bocca del riccio di mare si apre al centro dell'estremità inferiore del guscio.

È costituita da una superficie membranosa, da numerose e varie forme che circondano una struttura scheletrica denominata «lanterna di Aristotele», collegata per mezzo di muscoli all'interno del guscio.

Questa «lanterna» svolge le funzioni di mascella.

È una struttura complessa costituita da pezzi calcarei articolati.

I vari pezzi si possono esaminare con facilità: sono solidi, non si deteriorano, non si alterano in breve tempo, mentre le parti molli che collegano questi pezzi tendono a deteriorarsi e a modificare rapidamente forme e caratteristiche originarie.

La lanterna è strettamente collegata e dipendente nei suoi movimenti dalla struttura muscolare.

Si nota subito che la struttura muscolare è molto complessa correlata com'è ai movimenti di tutto l'apparato boccale.

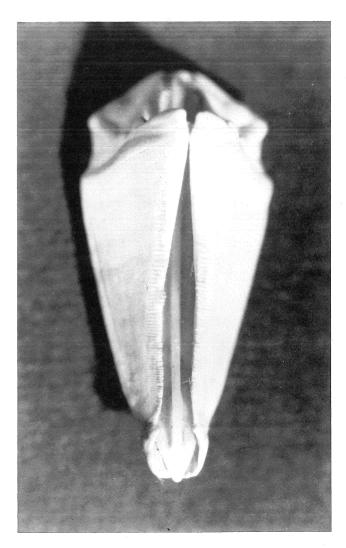
Questi movimenti sono percepibili solo in piccola parte dall'esterno dell'involucro, bisognerebbe trovarsi all'interno del riccio per cogliere i movimenti nella loro essenza. La raccolta dei ricci sulla riva del mare avviene in diversi momenti, a volte è casuale. I ricci raccolti vengono classificati e conservati in vasetti di vetro dopo essere stati accuratamente puliti.

Durante il lavaggio delle lanterne qualche elemento può incominciare a scrollarsi dal resto e rivelare di essere composto di pezzi più piccoli.

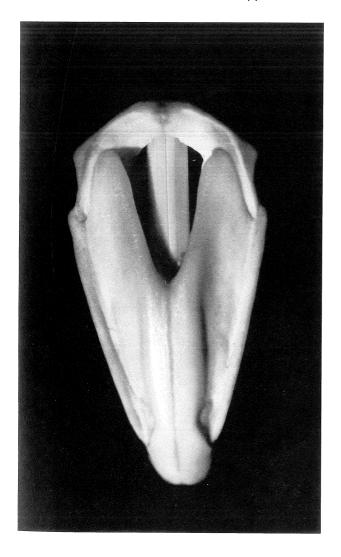
Si contano i pezzi.

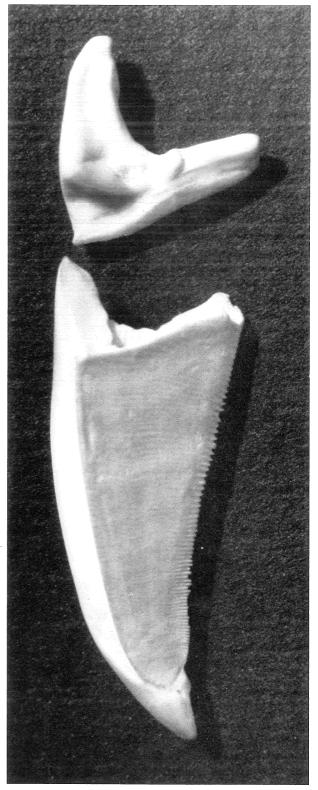
Si incomincia l'analisi delle forme.

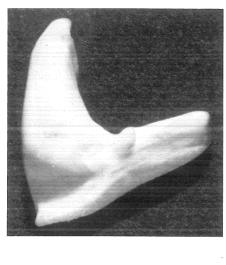
Una delle mascelle viste di fronte. È parzialmente visibile un dente alloggiato nel suo interno.

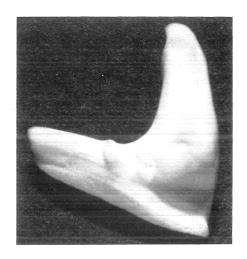


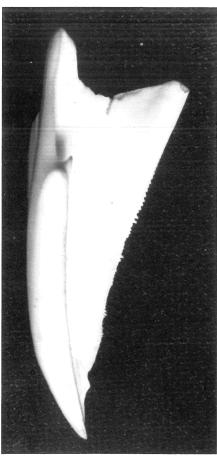
La stessa mascella vista dal lato opposto.

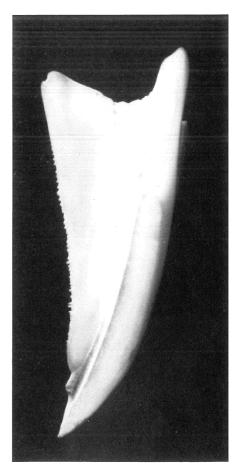




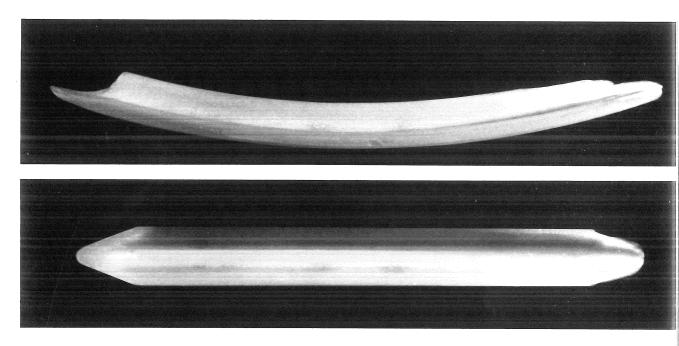




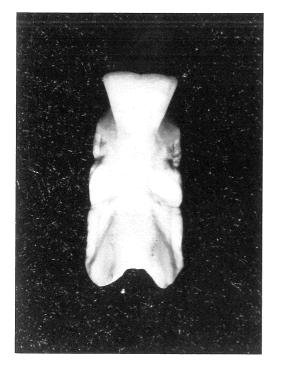




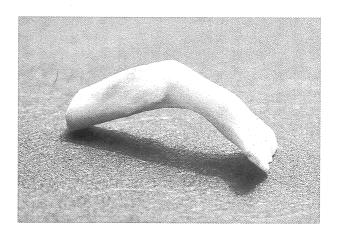
Ciascuna mascella può «rompersi» spontaneamente o essere scomposta in quattro parti.

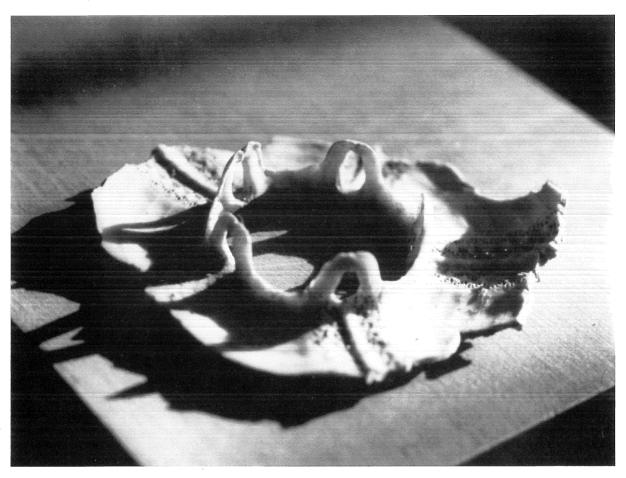


Uno dei cinque denti di cui è dotata ciascuna mascella visto di fronte e di profilo.

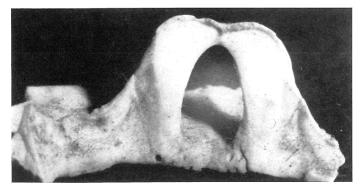


Forme che si trovano nella parte superiore della lanterna.





All'interno del guscio una specie di corona, che circonda l'apertura boccale, regge la struttura muscolare a cui è collegata la lanterna.



Uno dei cinque elementi di attacco dei muscoli che formano la corona, visto di fronte e di profilo.



L'ANALISI VISIVA

Per prima cosa bisogna vedere bene, con chiarezza, ogni parte dell'oggetto che si esamina.

Nelle lanterne di Aristotele, come quella che si vede nella fotografia, numerosi dettagli interessanti sono leggibili abbastanza bene anche ad occhio nudo nonostante le piccole dimensioni.

L'uso della lente di ingrandimento, e della macchina fotografica, aiutano a fare delle osservazioni più precise e dettagliate e anche a scoprire aspetti delle forme che altrimenti sfuggirebbero all'attenzione.

Specialmente l'uso della macrofotografia, che consente ingrandimenti notevoli delle parti da osservare, è un prezioso aiuto per questo tipo di indagine.

Sia che si guardi ad occhio nudo, con una lente di ingrandimento, che attraverso il mirino della macchina fotografica, ciò che si vede appare complesso.

È difficile stabilire dei rapporti, individuare gli elementi essenziali, confrontare tra di loro le forme che si vedono nell'oggetto.

La difficoltà sta nel riuscire a vedere l'oggetto come un tutto.

Se si riesce a vedere l'oggetto che si esamina come un insieme di parti, presenti in un dato numero, disposte in un dato modo e in relazione tra loro, ciò che appariva complesso incomincia a diventare un po' più semplice. Per capire le forme, le funzioni, i comportamenti degli elementi che fanno dell'oggetto un'unità organizzata, un tutto integrato, si può cercare di tradurre ciò che si percepisce visivamente di ciascuna componente in una serie di linee, di superfici, di volumi.

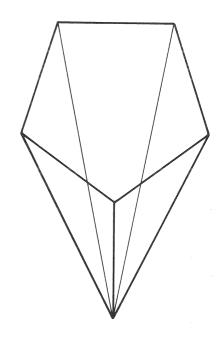
L'analisi di ciascuna parte e dell'insieme che le parti costituiscono fa capire come sia possibile vedere parti e struttura di insieme come un gruppo di figure più o meno geometriche.

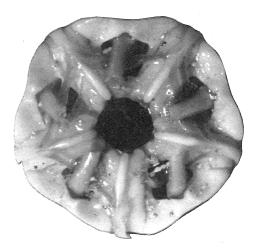
Il lavoro di decifrazione deve allora procedere nel senso della estensione dei rapporti che si possono stabilire tra le varie componenti costitutive dell'oggetto per cercare poi di tradurre nel linguaggio geometricomatematico ciò che dell'oggetto si pensa, si immagina, ciò che nasce dalla riflessione e dalla memoria. Si incominciano a studiare uno per uno tutti i pezzi che compongono la lanterna. Si prova a rimetterli insieme per vedere se è possibile scoprire in che modo specifico le forme sono tra loro complementari ed

Si incominciano a fare i primi tentativi di analogia formale:

interdipendenti.

la lanterna nella sua forma complessiva può essere assimilata ad una piramide retta a base pentagonale (col vertice rivolto in basso):

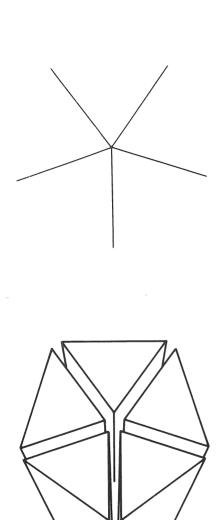


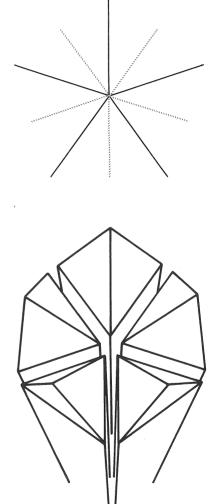


ciascuna delle parti in cui si scompone la lanterna può essere descritta, definita per analogia con forme geometriche derivate da sezioni di una piramide pentagonale; si nota subito, osservando una lanterna, la sua simmetria pentaraggiata; una piramide a base pentagonale sezionata lungo gli assi di simmetria passanti per i vertici del pentagono si scompone in cinque tetraedri di uguale forma e dimensione;

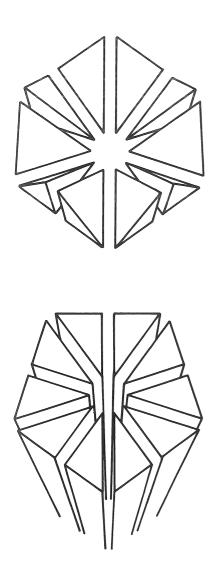
uno di questi tetraedri può essere assimilato alle forme che costituiscono parte di un quinto del volume della lanterna;

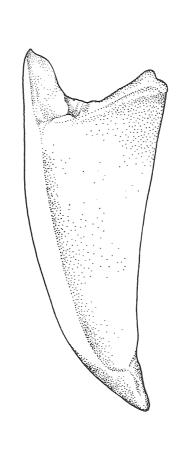
l'analogia con le forme che si vedono nella lanterna è ancora molto approssimata; il volume della lanterna risulta meglio definito se si sovrappongono cinque tetraedri ai cinque del disegno precedente e si sezionano queste forme lungo gli assi di simmetria passanti per i punti medi del pentagono.

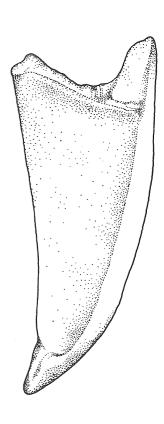


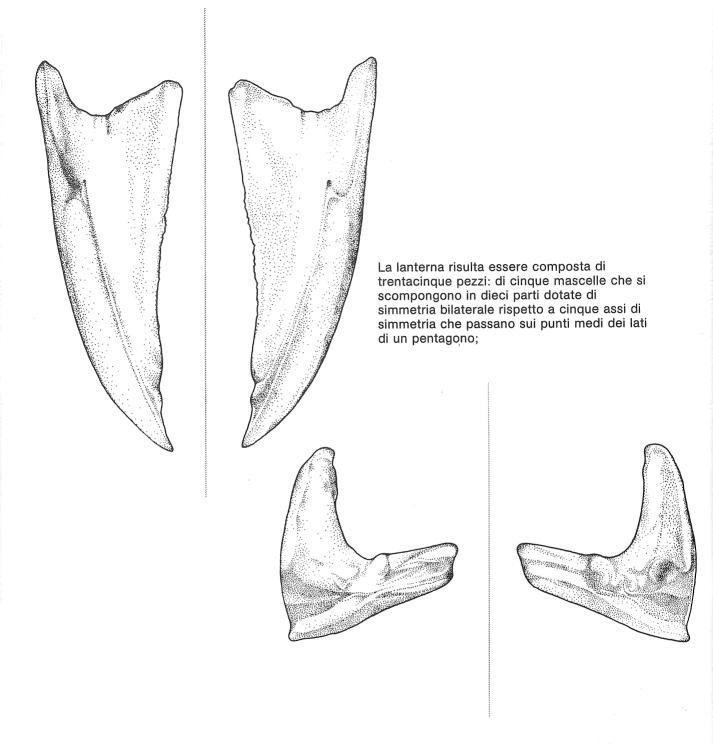


Per capire meglio le forme che nella lanterna sembrano avere una relazione diretta con la struttura di articolazione, di movimento dell'insieme, si realizzano dei disegni analitici di ciascuno dei pezzi, con i quali sarà anche possibile visualizzare più efficacemente la simmetria della lanterna.

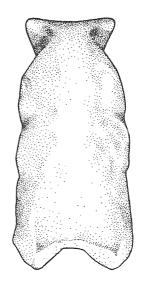


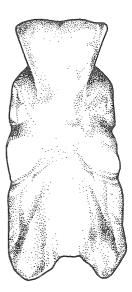


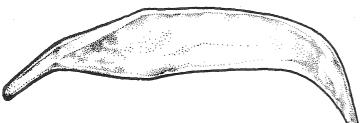




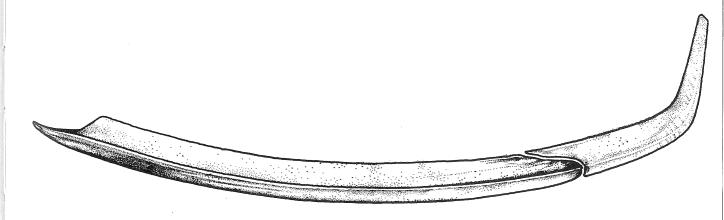
di cinque elementi che si staccano dalla superficie superiore delle mascelle, scomponibili ciascuno in due parti, dotati a loro volta di simmetria bilaterale determinata dagli stessi assi di simmetria delle mascelle; di cinque elementi non scomponibili che nella lanterna sono situati tra una mascella e l'altra, che si trovano sugli assi di simmetria passanti per i vertici di un pentagono;







di altri cinque elementi non scomponibili sovrapposti a quelli appena indicati;

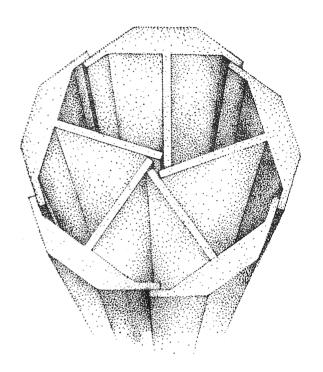


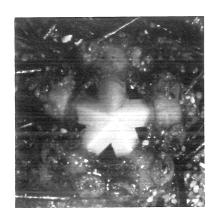
di cinque denti non scomponibili che si trovano sugli assi di simmetria che passano sui punti medi dei lati di un pentagono;

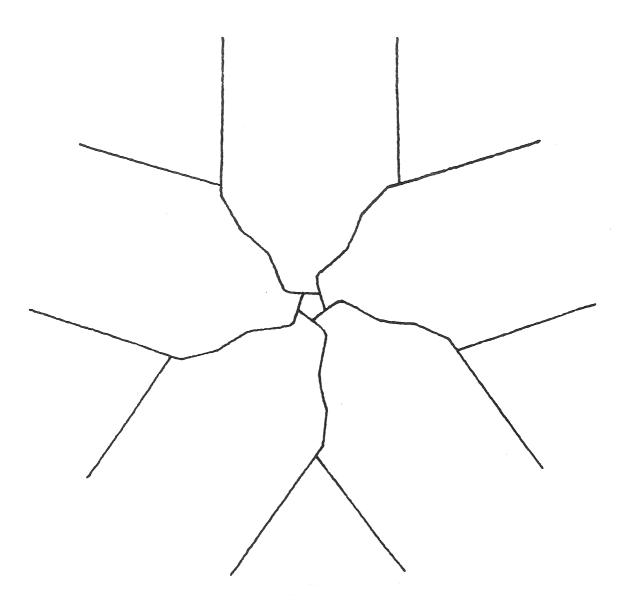
di cinque elementi di attacco dei muscoli che fanno parte integrale del guscio. Questi elementi dovranno essere studiati in relazione sia al guscio che alla lanterna. Si vedrà meglio in seguito come la configurazione specifica di ciascuno dei cinque elementi di attacco dei muscoli dipenda dalla simmetria che regola la scomposizione del guscio in spicchi. Sommando questi ultimi cinque pezzi agli altri si hanno quaranta pezzi. I denti del riccio sono mobili. Dall'interno delle mascelle l'animale può spingerli in fuori, nell'ambiente esterno. e ritrarli rialloggiandoli all'interno delle mascelle.

Immaginando di osservare dall'interno i denti del riccio perpendicolarmente ad un piano di sezione trasversale, si potrebbe apprezzarne il sistema di chiusura a diaframma, simile al meccanismo che in una macchina fotografica regola la quantità di luce che attraversa l'obiettivo.

I disegni visualizzano una ricostruzione schematica.





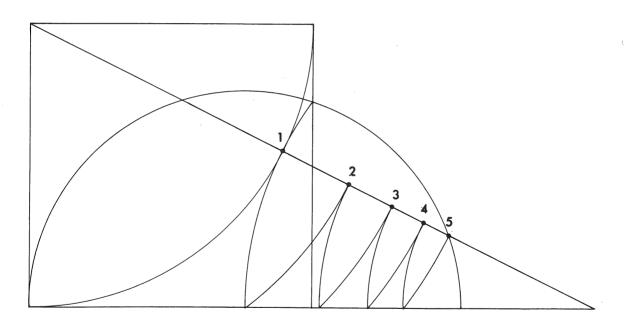


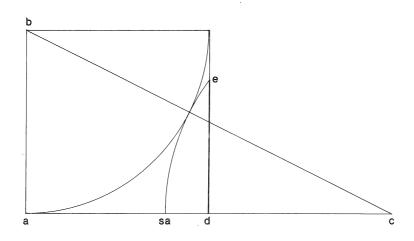
Se si seziona un quadrato lungo la linea A-E si ottengono le figure A e B.

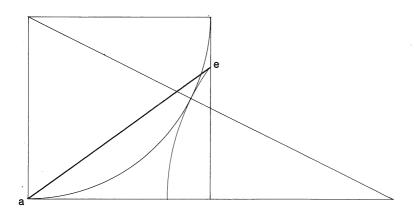
La figura A e la sua immagine speculare con cui forma una coppia, danno origine combinate tra loro ad un poligono a forma di ciambella pentagonale.

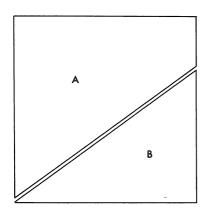
Questa figura fa pensare alla disposizione delle dieci parti o cinque coppie di parti in cui si separano le mascelle della lanterna disposte in simmetria raggiata intorno all'asse longitudinale del riccio.

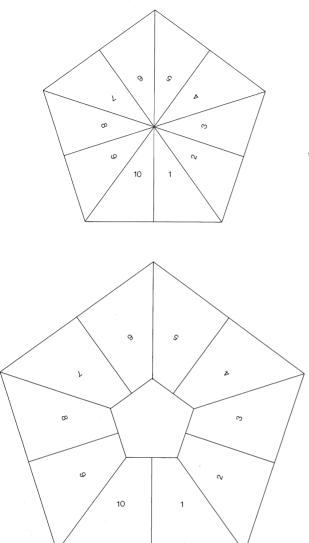
Un pentagono senza vuoti interni risulta invece dalla combinazione della figura B con la sua immagine speculare. Mentre si ottiene un decagono spostando dieci volte il pezzo A come si può vedere nel disegno (p. 30). La disposizione della struttura degli attacchi dei muscoli della lanterna sembra avere una simmetria decagonale.

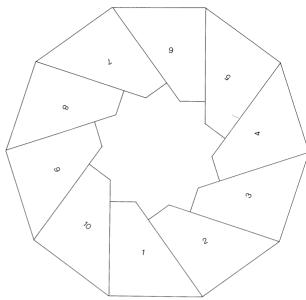










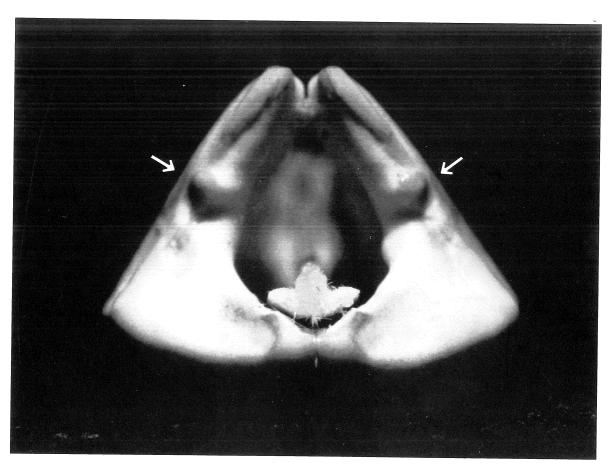


CHE COSA NON SI DEVE FARE

Nell'esplorare ciò che si conosce e si ignora della situazione da affrontare ci si rende presto conto che «copiare» sarebbe un'impresa ardua, quanto priva di senso. Non si deve fare una imitazione esteriore dell'oggetto naturale scelto come campione. L'indagine che si conduce su di esso deve aiutarci a comprendere come la natura fa accadere le cose.

Non si deve semplificare troppo nel rappresentare, nel descrivere concretamente ciò che dell'oggetto naturale si è percepito. Non si deve fare un lavoro troppo dettagliato nel progettare e costruire modelli che simulano parti dell'oggetto naturale. In questo modo non si migliorerebbe la comprensione di che cosa è veramente fondamentale del loro funzionamento. Non si deve temere di sbagliare.

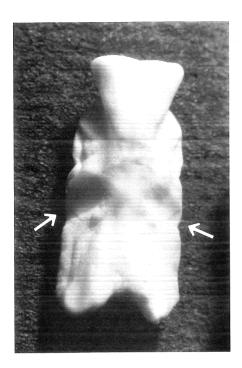
A volte le conseguenze concrete di un errore possono risultare stimolanti per quanto di inaspettato, di imprevisto esse tendono a rivelare.



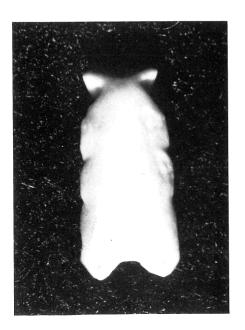
La scomposizione in parti della lanterna aiuta a scoprire rilievi, depressioni, cavità; fa vedere meglio come ciascuna parte si adatta all'altra, quali sono i punti, le superfici di attacco, di snodo, di incastro.

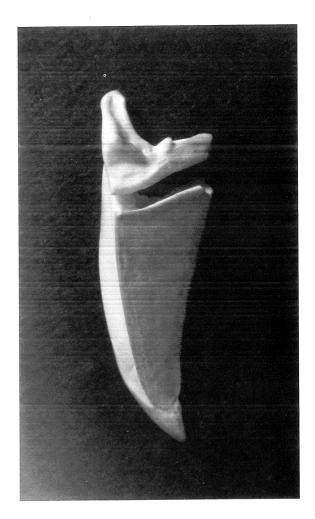
Mascella vista dall'alto.

Ai due rilievi che si vedono in questa fotografia corrispondono due depressioni, indicate dalle frecce nella fotografia della pagina seguente, dell'elemento che fa da ponte tra una mascella e l'altra.

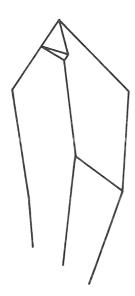


Si vede in alto anche un volume trapezioidale con altre due depressioni ai lati che sono ancora più evidenti se si capovolge lo stesso pezzo.

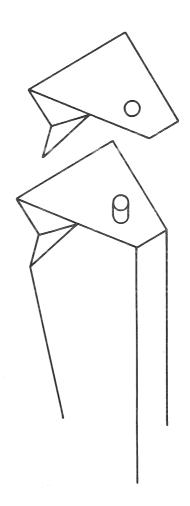




Nella depressione in sottosquadra che si vede in questa foto della mascella, si inserisce il rilievo trapezioidale della piastrina ponte; rilievi e depressioni di questa piastrina si adattano a forme complementari della mascella costituendo un particolare incastro.



Il disegno mostra una interpretazione parziale e schematica di quello che non sembra essere comunque un semplice incastro di due forme complementari, le quali dovranno essere studiate più dettagliatamente insieme e in relazione all'intera mascella.



CORRELAZIONI PROPORZIONALI

Delle quattro facce a cui si può, per semplicità, ridurre la superficie esterna della mascella, due sono simili a due triangoli rettangoli uguali tra loro, e due a due triangoli isosceli tra loro diversi.

Il tetraedro ricavabile per sezione da una piramide retta a base pentagonale è costituito da due triangoli rettangoli fra loro uguali e da due triangoli isosceli tra loro diversi: queste figure geometriche sono relativamente simili alle facce di una mascella.

Occorre però migliorare l'analogia tra il modello naturale e il modello geometrico.

La progettazione di una forma più complessa derivata dalla forma modificata del tetraedro sarà una delle prime operazioni concrete da tentare.

Si incomincia con lo studiare il rapporto dimensionale-proporzionale che deve essere stabilito tra i cateti del triangolo rettangolo, rapporto che deve avvicinarsi il più possibile a quello ottenuto dalle misurazioni controllate sulla mascella.

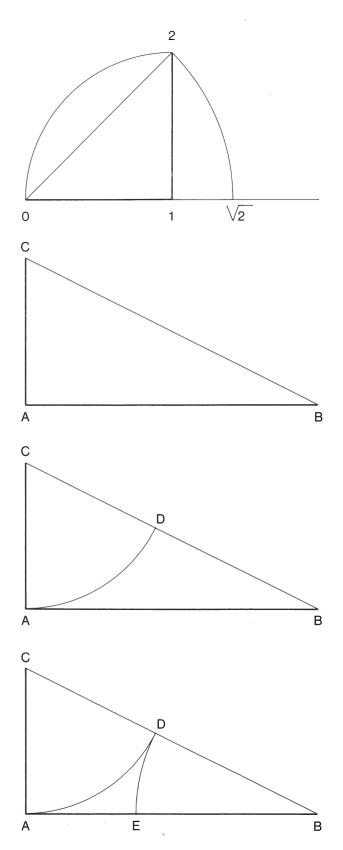
Per definire questo ed altri rapporti proporzionali tra dimensioni lineari date, o da cercare nel corso di questo studio, due esempi possono offrire un mezzo di precisione utilizzabile nella scelta di misure. Circa duemila anni fa i Greci scoprirono che diagonale e lato del quadrato sono incommensurabili; infatti la lunghezza della diagonale di un quadrato di lato unitario che per il teorema di Pitagora si indica con $\sqrt{2}$ è un esempio di lunghezza non misurabile con un numero razionale.

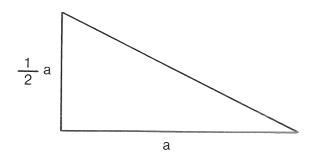
Dato il segmento si centra in 1 si riporta O-1 in verticale con centro in O; si ribalta O-2 sul prolungamento di O-1 punto di sezione che divide, in due parti non uguali, il segmento di lunghezza O-2.

Naturalmente un segmento può essere diviso in due parti non uguali in altri infiniti modi. Un particolare caso di divisione di due parti non uguali di un segmento è noto col nome di sezione aurea.

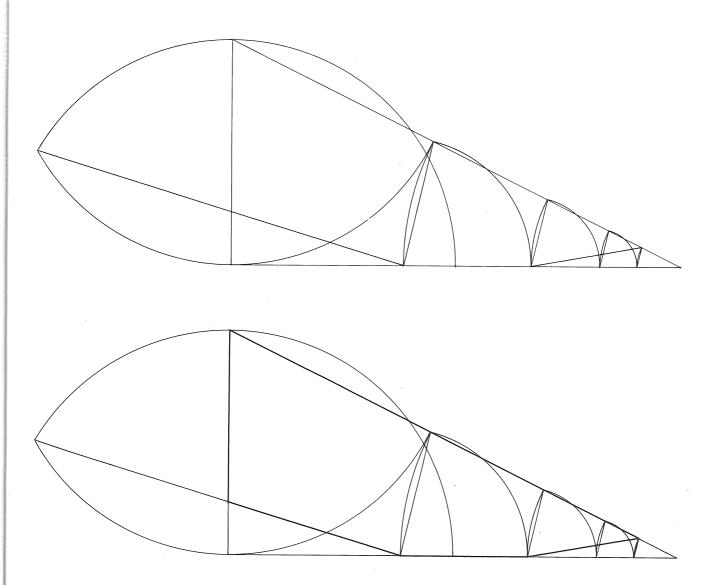
Luca Pacioli, nel suo trattato *De Divina Proportione*, pubblicato a Venezia nel 1509, dice che la «divina proporzione» è la sezione aurea: dato un segmento l'intero sta alla parte maggiore come la parte maggiore sta alla minore, 1:X=X:1-X; X=0,618. Dato il segmento A-B si riporta sulla perpendicolare in A il segmento $AC=\frac{AB}{2}$ si

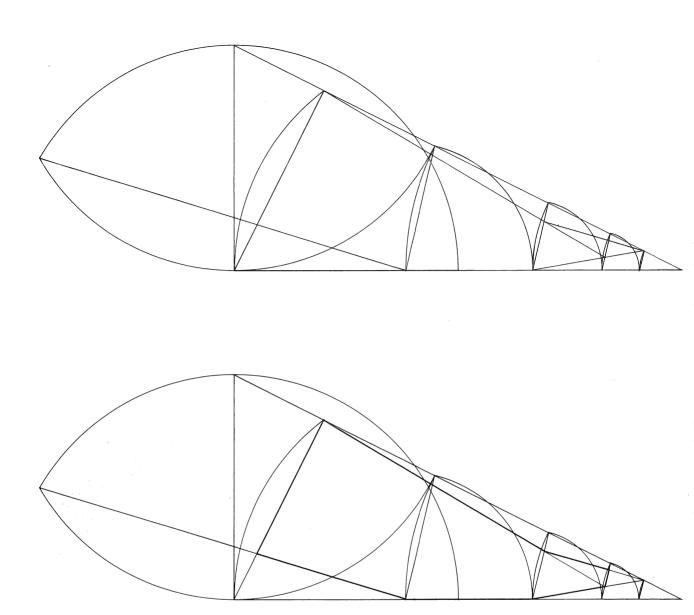
descrive l'arco di centro C e raggio C-A il segmento C-B incontra l'arco in D; si descrive l'arco di raggio B-D e centro B suddividendo in due parti, in E, il segmento A-B.

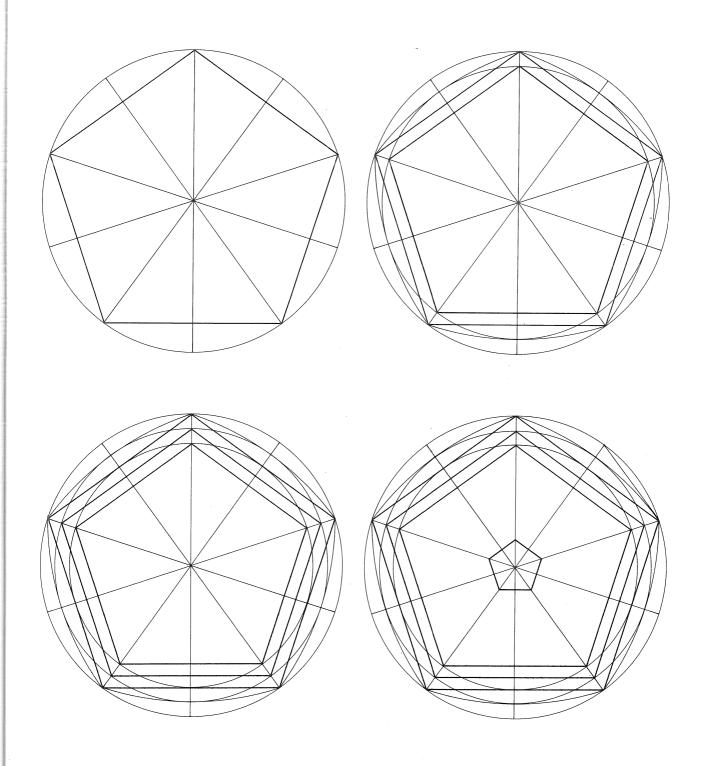


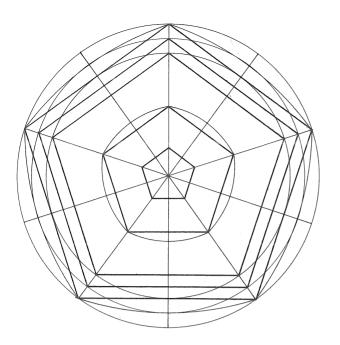


Dai rilievi di misurazioni della mascella si ricava che il cateto maggiore del triangolo rettangolo è il doppio di quello minore. Disegni costruttivi di un modello di mascella.

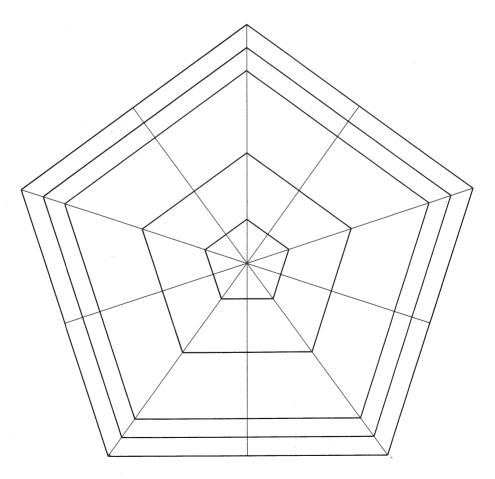


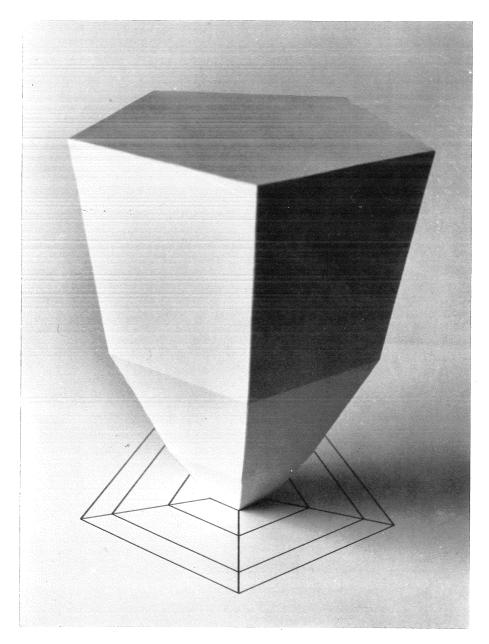






Disegni che si riferiscono ai piani orizzontali, della superficie superiore, inferiore, e interni, del modello da costruire.

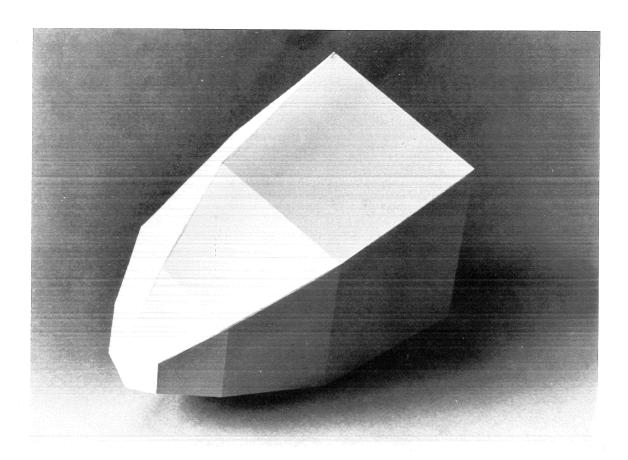




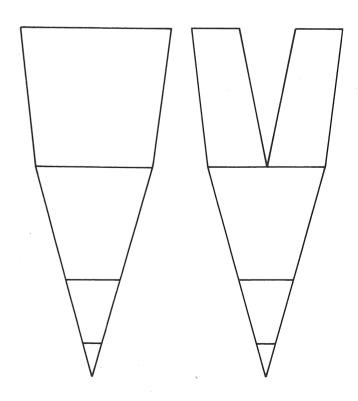
Piramide pentagonale modificata. Questo modello più definito in senso analogico e costruttivo costituisce un riferimento utile per la realizzazione di modelli di mascella.

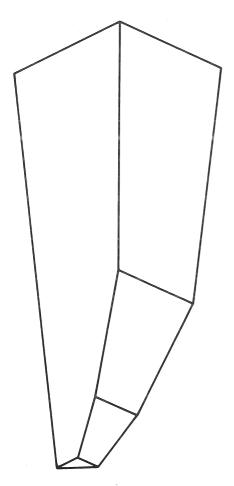
Dopo avere scelto con cura i materiali da usare e averne valutato attentamente le caratteristiche e i limiti di impiego, può incominciare la costruzione di modelli riferiti a parti, o insieme di parti, del modello naturale. Si deve verificare nel lavoro di costruzione di un modello la validità delle ipotesi formulate. A volte il primo modello è anche il modello definitivo.

Esso è in grado di assumere, in modo accettabilmente efficace, comportamenti analoghi che sono propri del modello naturale. Se i risultati ottenuti non saranno soddisfacenti si modificherà il modello, si faranno nuovi esperimenti, si costruiranno nuovi modelli.

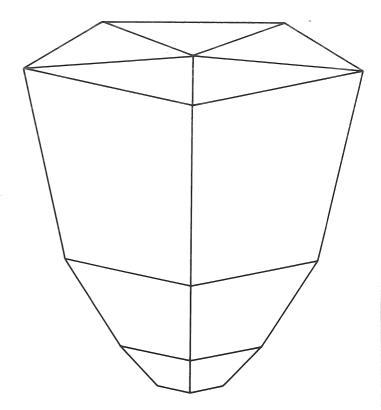


Lo stesso modello visto di lato. Disegni che si riferiscono alla superficie esterna del modello.

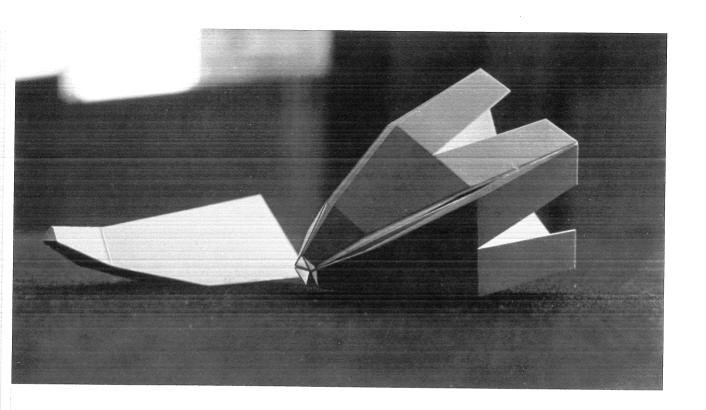




Disegno di un modello di mascella.



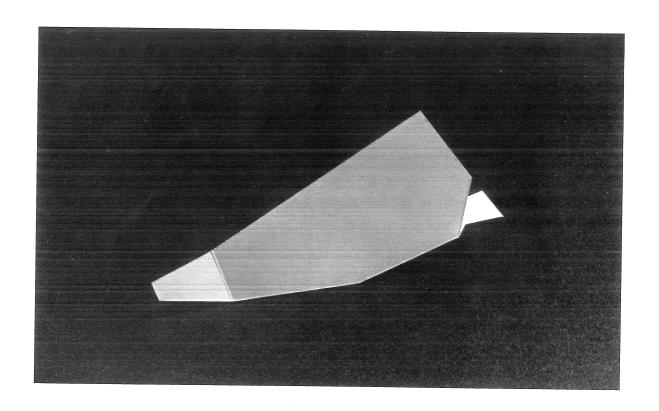
Cinque modelli uniti.

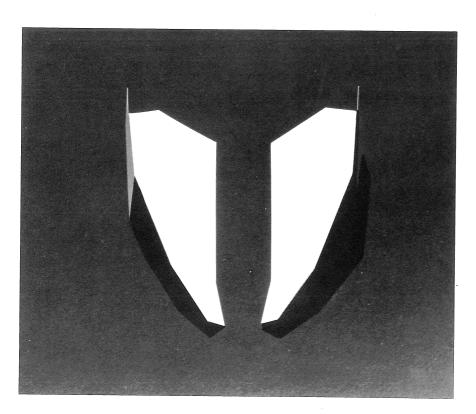


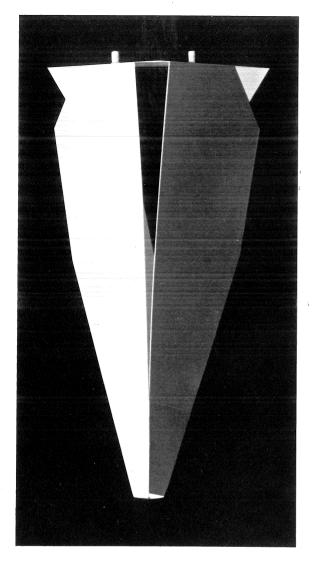
Rispetto al modello precedente questo è più elaborato, dettagliato.

Le operazioni successive consistono nel dividere in due parti ciascuno dei cinque modelli di mascella:

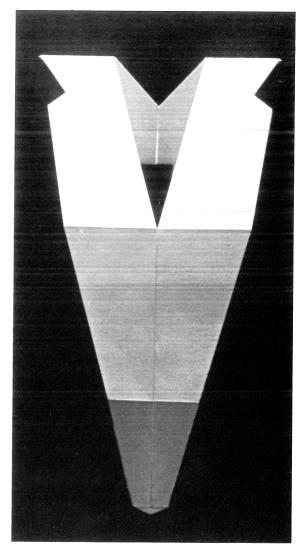
nel progettare e costruire un modello che faccia da ponte, da elemento di collegamento dei cinque modelli di mascella.



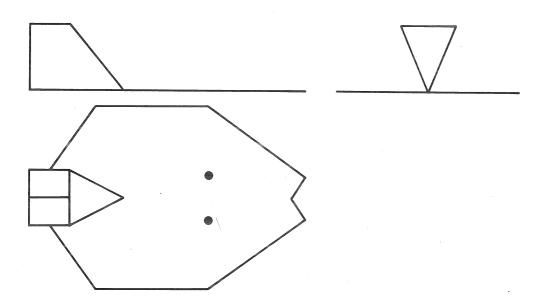




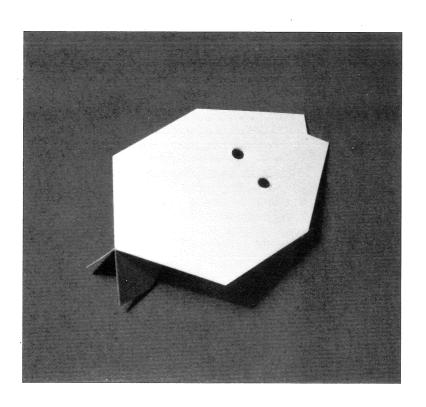
Modello visto di fronte.

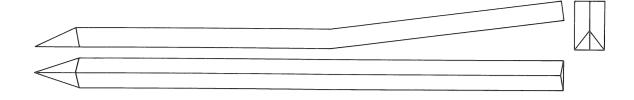


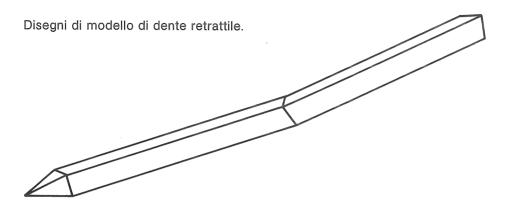
La stessa forma rovesciata.



Disegno di elemento di collegamento visto in pianta, di fronte e di fianco.

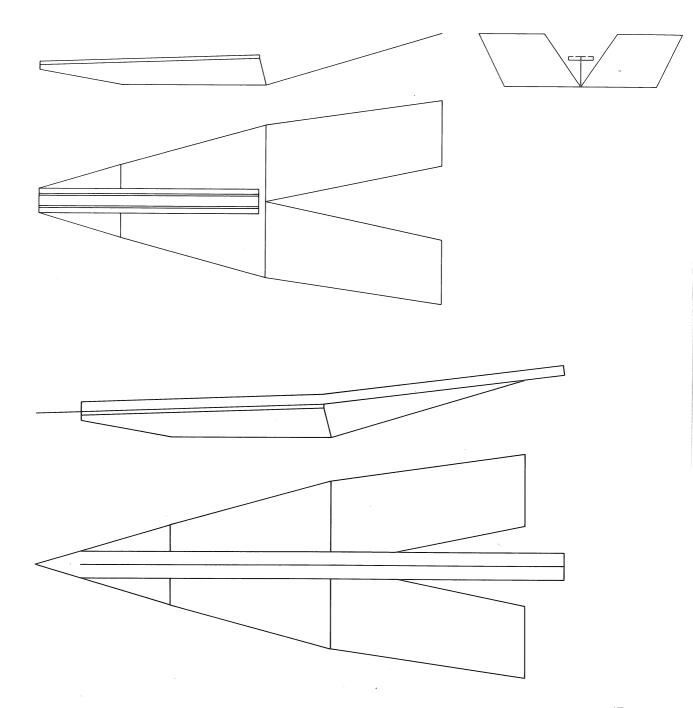


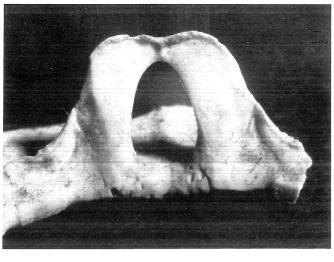




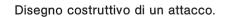
I disegni si riferiscono allo studio della forma del dente e della sua disposizione all'interno della mascella.

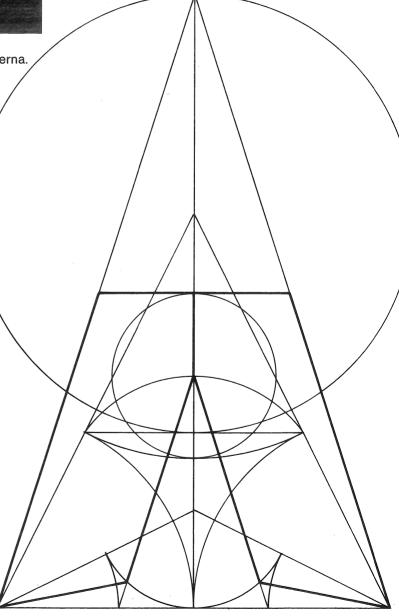
Il problema consiste nel cercare di capire in quale modo una forma scorre dentro l'altra. La funzione di scorrimento del dente dipende, almeno in parte, dalla composizione delle superfici che si trovano a contatto tra loro. Due delle quattro forme speculari in cui si divide una mascella hanno nel loro interno una superficie rigata in senso longitudinale da sottilissimi solchi e rilievi che fanno pensare ad una sorta di binario sul quale può scorrere il dente dell'animale.

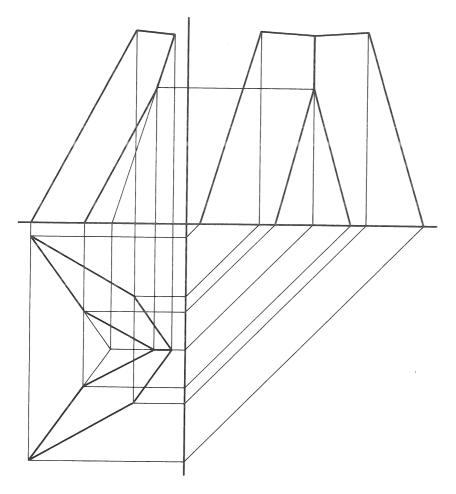




Attacco che collega il guscio alla lanterna.







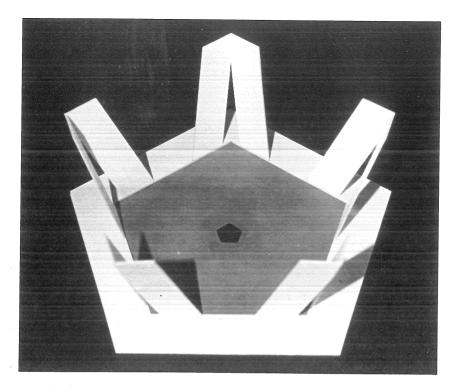
Disegno del modello visto in pianta, prospetto, fianco.

Si costruisce una corona pentagonale costituita di cinque di questi attacchi e di un piano di gomma pentagonale con un foro pentagonale al centro.

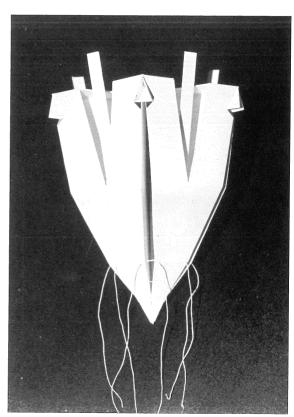
Si compongono i modelli di mascella, degli elementi-ponte, dei denti, in un insieme organizzato.

Le parti verranno collegate tra loro con filo di gomma (muscoli) dopo che per fissare il filo si saranno individuati sulla superficie interna ed esterna dei vari pezzi, i punti di attacco, il disegno complessivo da essi determinato, dal quale dipenderà l'equilibrio funzionale dell'insieme.

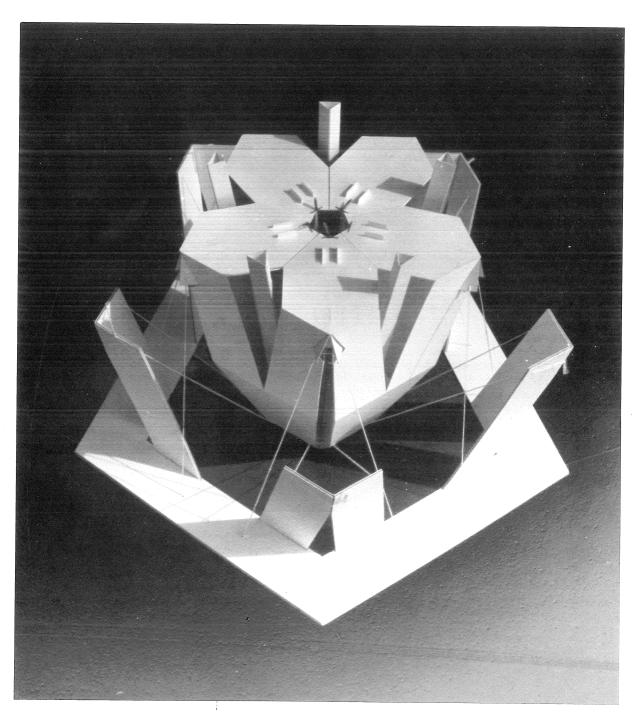
In questo primo modello globale, la forma, la composizione delle parti, la mobilità di cui sono dotate, soddisfano solo parzialmente l'analogia con l'architettura delle forme, la struttura, i movimenti della bocca del riccio.



Modello di corona pentagonale sul quale va inserito il modello di lanterna.



Modello di lanterna.



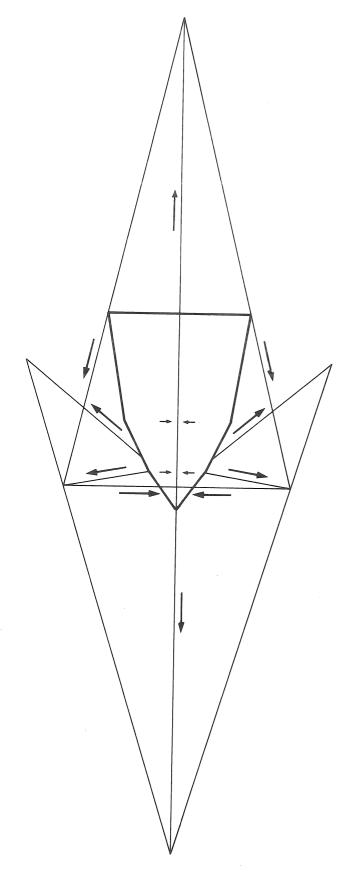
Modello completo di insieme di tutte le parti realizzate.

Nel movimento di apertura della bocca del riccio le mascelle sono parte attiva, insieme a tutte le componenti calcaree e muscolari, di un gioco complesso ed integrato di tensioni antagoniste.

Quando la bocca dell'animale è chiusa una forma specifica che sporge dalla mascella è a contatto con una forma complementare cava della piastrina ponte che fa da raccordo tra una mascella e l'altra.

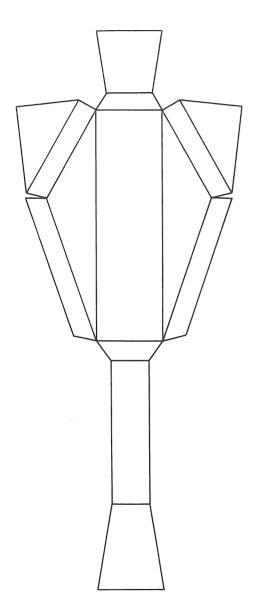
Se la bocca si apre la mascella preme in semirotazione sulla piastrina che agisce da snodo.

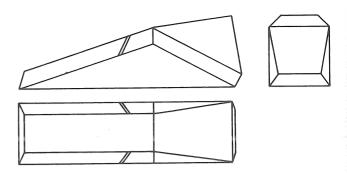
La mascella è regolata nel movimento di rotazione da un fermo costituito dalla architettura terminale della piastrina stessa. Questo meccanismo concorre a determinare il limite massimo di apertura della bocca. Un'altra forma calcarea sovrapposta alla piastrina scarica la pressione esercitata dalla mascella sulla piastrina all'interno di un circuito muscolare che collega la parte terminale della mascella (bocca) col guscio. In un gioco complesso che tende ad equilibrare spinte e controspinte si scopre che ciascuna parte di questo insieme organizzato è dotata di più di una funzione. Per esempio la piastrina-ponte agisce da distanziatore tra due mascelle e probabilmente consente un movimento di apertura più ampio della bocca: funziona inoltre come fermo e come snodo. La mascella, cava all'interno, ha le superfici esterne che terminano in una finissima forma a pettine: l'involucro entro il quale scorre il dente è anche un contenitore-filtro che regola il flusso di sostanze che entrano nella bocca del riccio



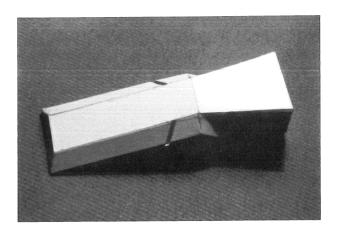
Disegno schematico delle forze che agiscono come risultanti delle tensioni muscolari. Le componenti che formano l'inviluppo dei movimenti si contrappongono all'interno di un modulo formale a doppia piramide i cui vertici opposti coincidono con gli estremi di una stessa retta.

La retta rappresenta l'asse di equilibrio di tutte le tensioni dinamiche a cui può essere variamente sottoposta l'intera struttura. Alla luce di queste considerazioni la costruzione di un nuovo modello di piastrina-ponte dovrà essere basata su una migliore definizione delle sue funzioni. Infatti, rispetto al primo modello, il nuovo dovrà essere dotato di fessure appropriate entro le quali potranno ruotare le forme complementari appartenenti ai modelli di mascella.



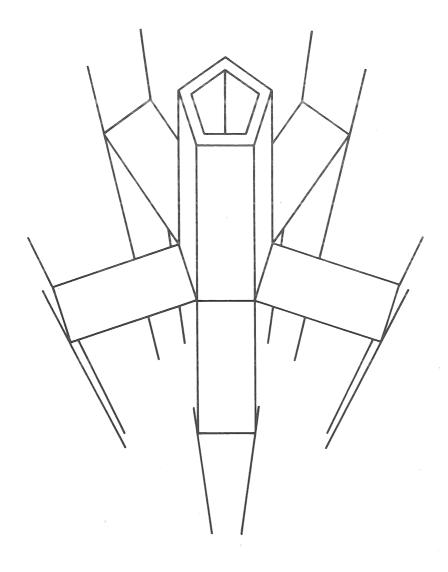


Disegno in pianta prospetto e fianco del nuovo modello.



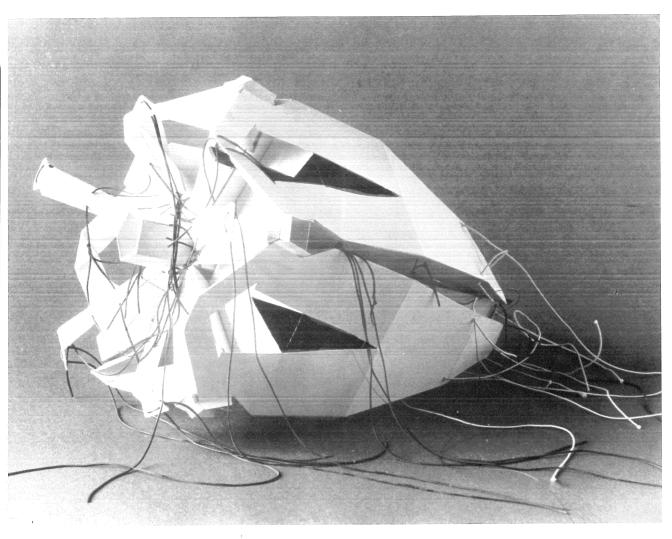
Modello.

Sviluppo.

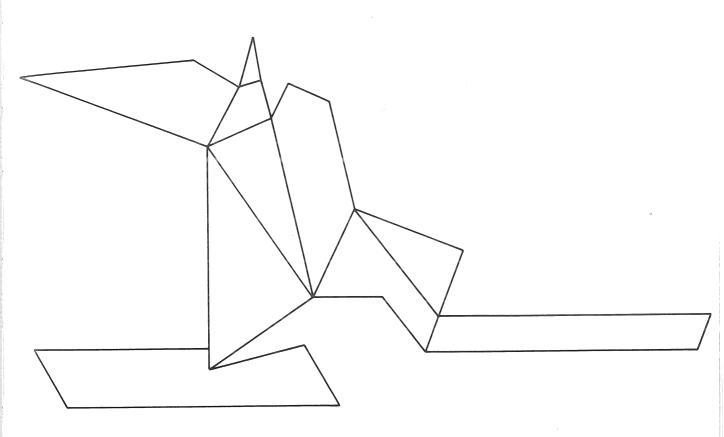


Si devono anche dotare le cinque mascelle di un movimento non contrastante con l'architettura delle forme e la simmetria di insieme, tendente anzi a potenziare il modulo costruttivo.

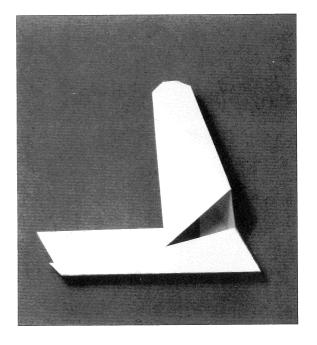
Le mascelle vengono raccordate da ponti mobili incernierati ad un prisma pentagonale cavo che assume la funzione di asse longitudinale di trasmissione del movimento oltre che di asse di simmetria a cui si riferiscono le varie parti che compongono il modello.

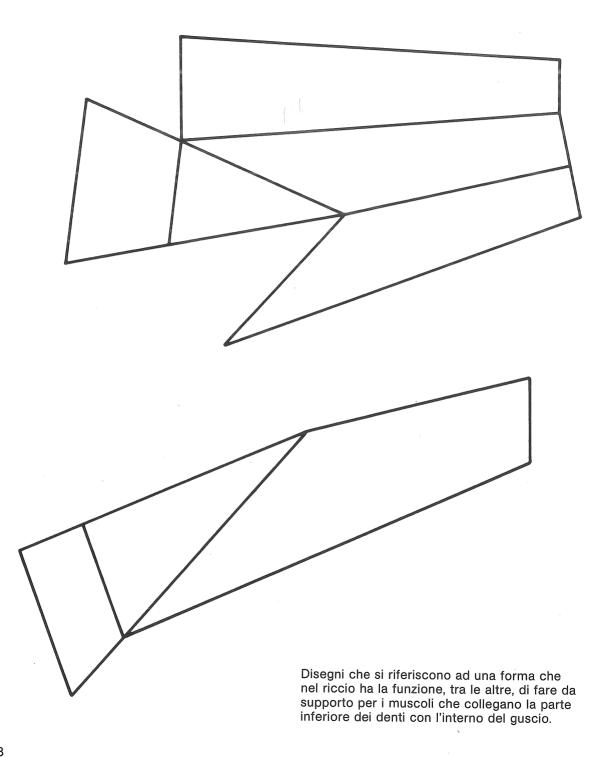


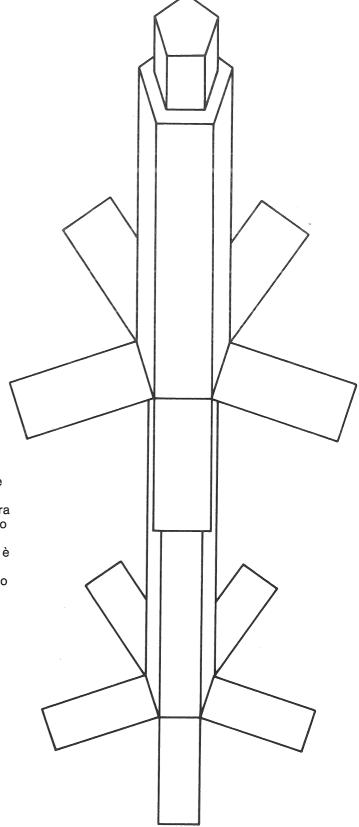
Un nuovo modello, costruito in modo approssimativo, consente di sperimentare la validità di questo meccanismo e di vedere subito se i punti di attacco dei fili elastici e l'altezza a cui sono collocate le cerniere sui piani del prisma, sono giusti e quindi fare le modifiche necessarie.



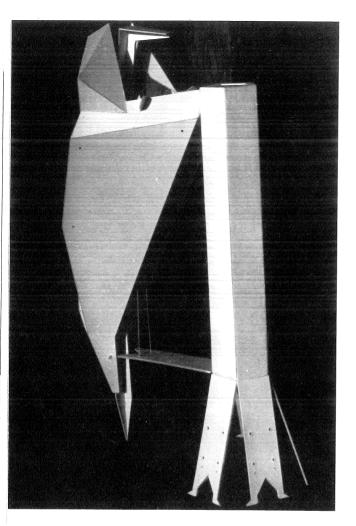
Studio della forma che fa da supporto e da attacco per i muscoli che reggono i denti nella parte superiore della mascella.
Sviluppo e forma tridimensionale del modello.







Poiché anche i denti devono potersi muovere all'interno delle mascelle e il movimento essere in sincronia con l'apertura e la chiusura della bocca, bisogna stabilire un collegamento tra la parte superiore e inferiore della mascella e il prisma pentagonale interno che è in grado di determinare questi movimenti. Questo problema può essere risolto inserendo a canocchiale all'interno del prisma cavo un secondo prisma pentagonale dotato di ponti snodati che devono essere collegati ai denti.

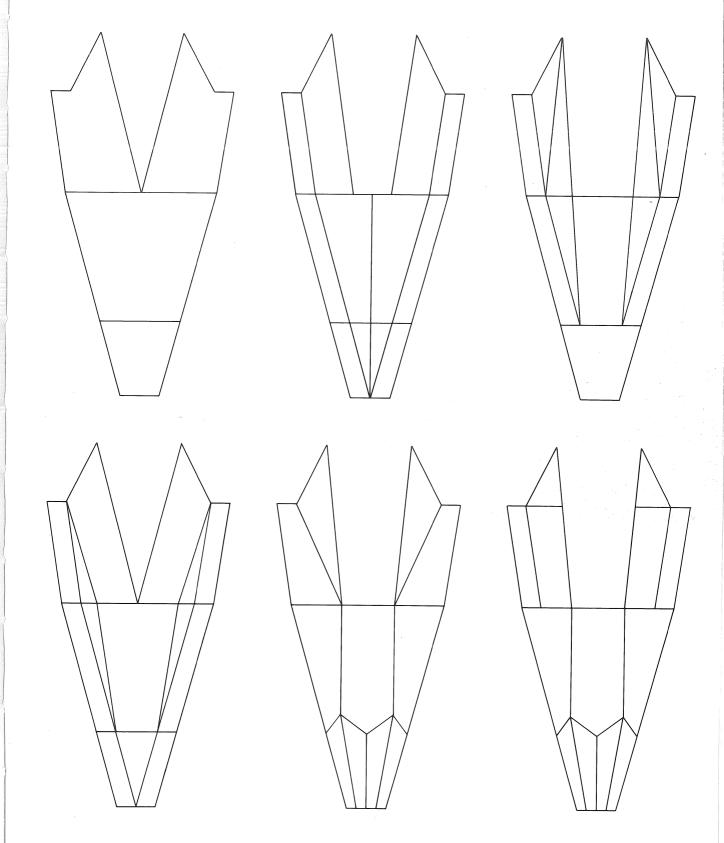


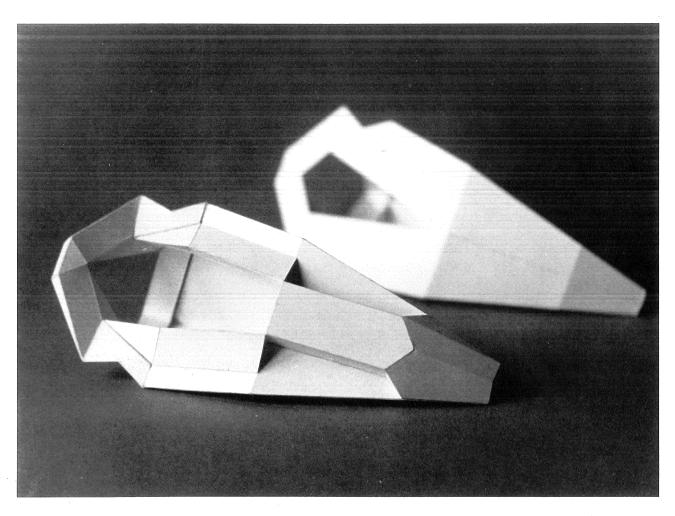


Modello di prisma pentagonale e modello di mascella collegati.

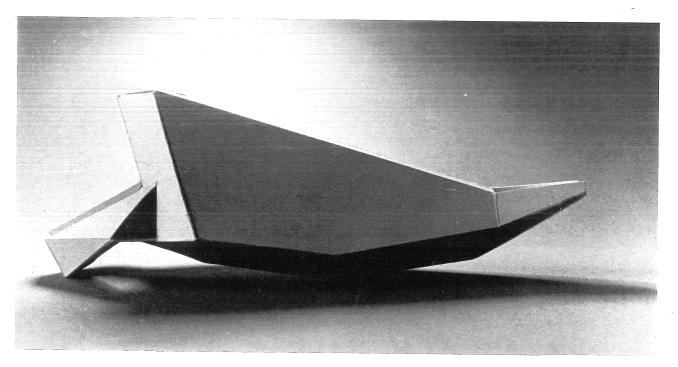
Naturalmente l'inserimento di queste nuove forme richiede in alcuni casi delle modificazioni delle forme precedentemente progettate e costruite.

Si fa perciò una verifica accurata tendente a migliorare il coordinamento dei vari pezzi in vista di un loro funzionamento più efficace. Dopo queste modifiche si passa al montaggio finale del modello.

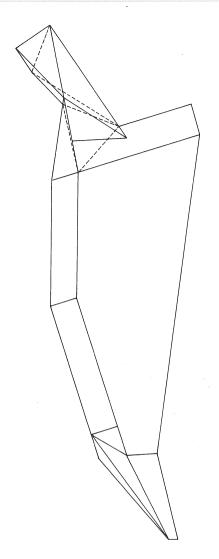




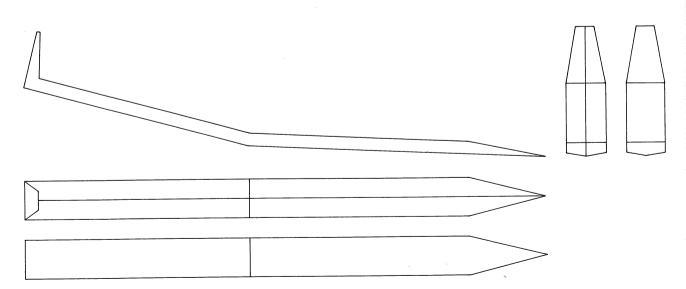
Esempio di modificazione di un pezzo.

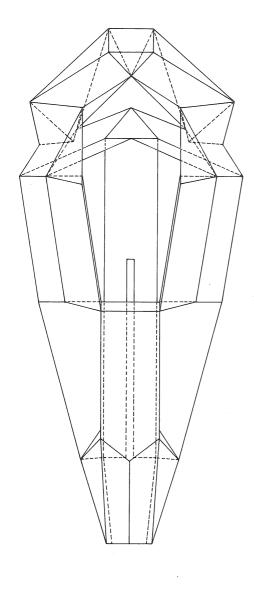


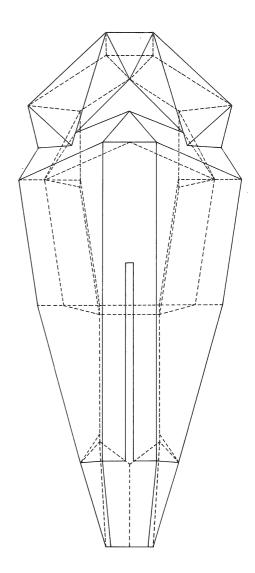
Lo stesso pezzo visto di profilo.

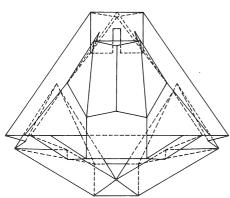


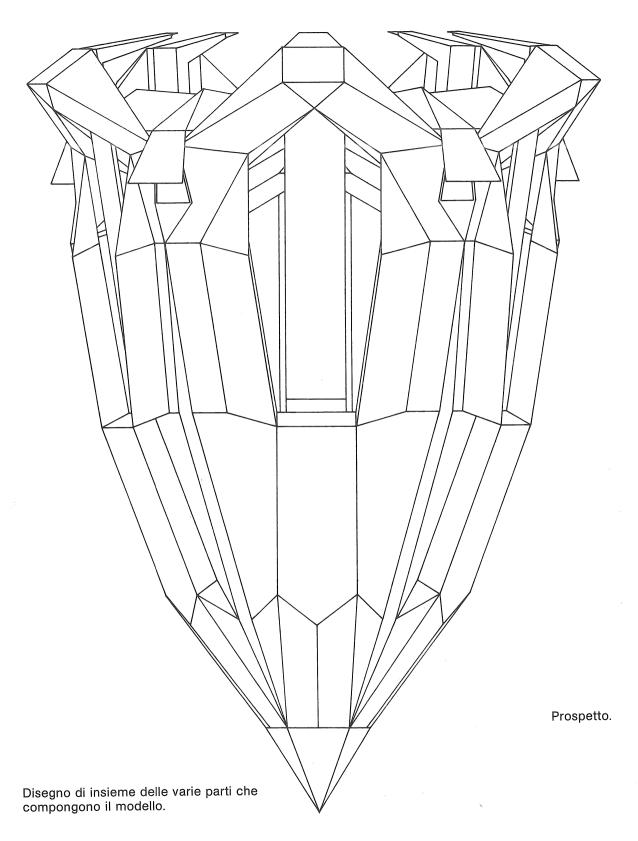
Disegni costruttivi del modello di mascella modificato. Disegno in pianta, prospetto, fianco del modello modificato di dente retrattile.

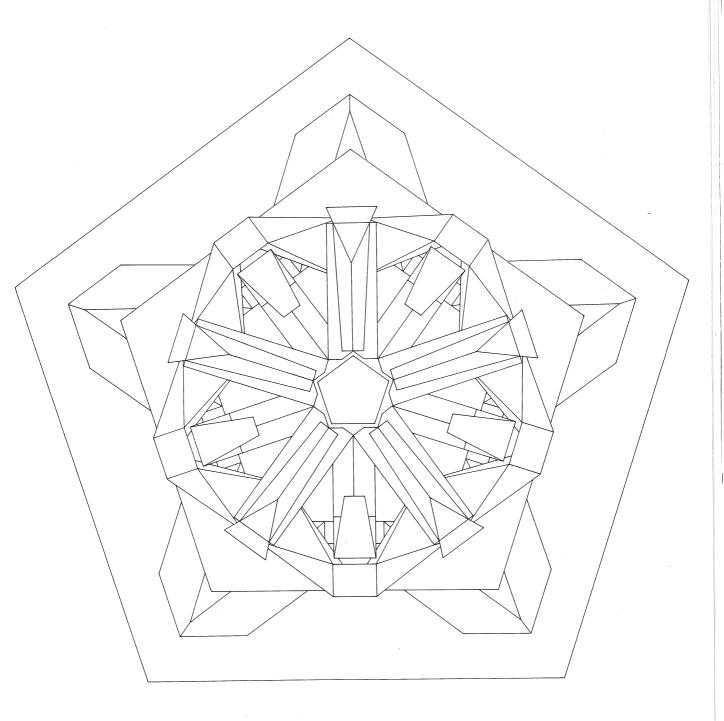




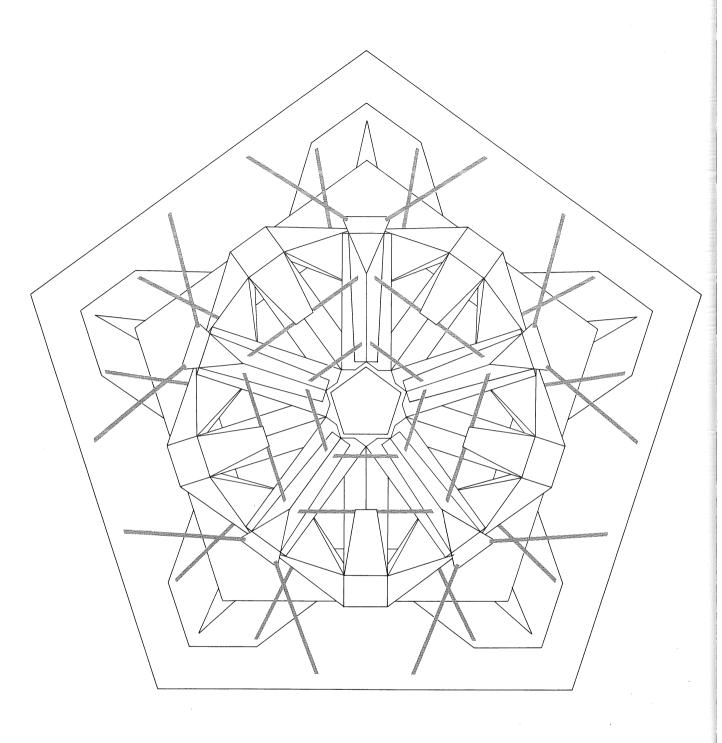




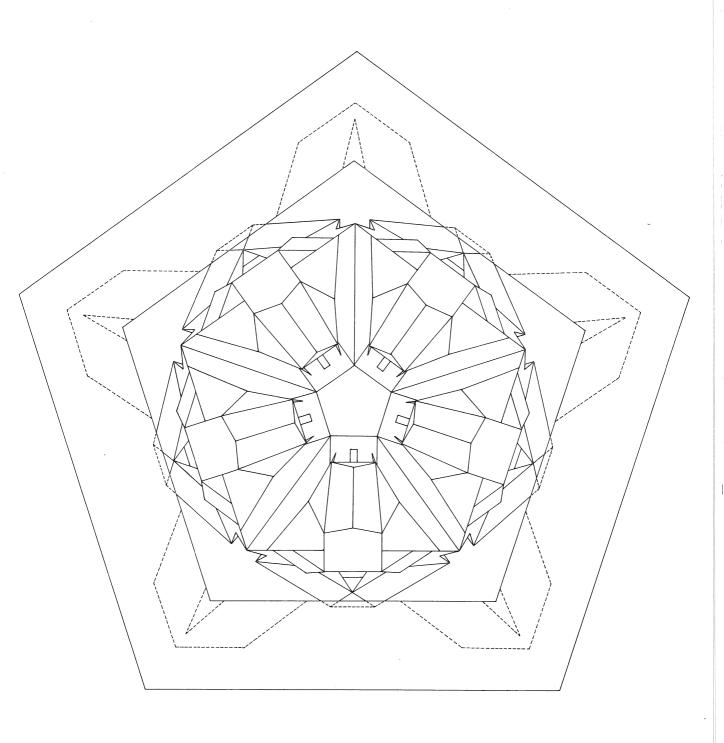




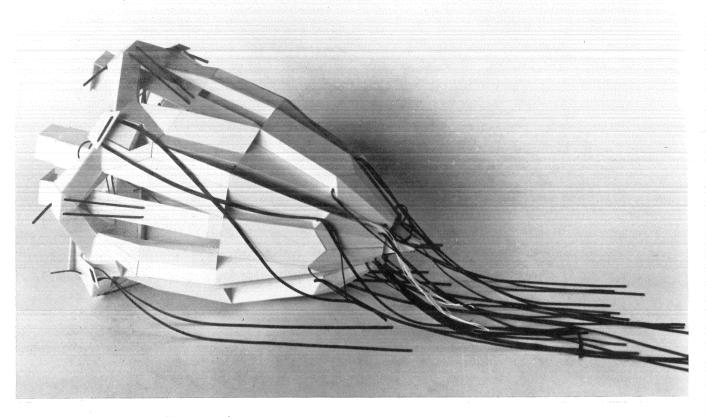
Pianta.



Disegno che mostra la disposizione degli elastici che mettono in tensione equilibrata il modello.



Disegno che mostra lo stesso modello visto da un'altra posizione.



Modello in fase di montaggio.

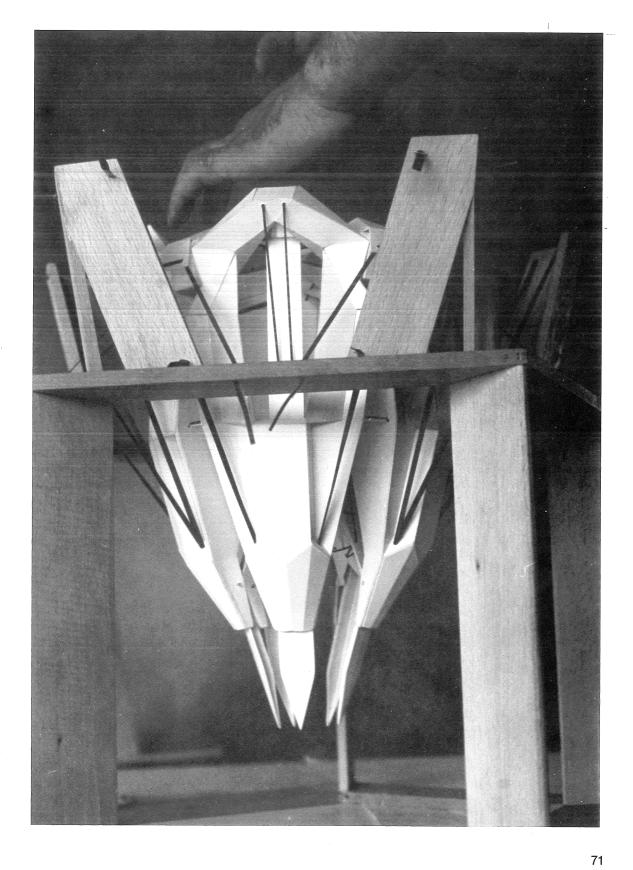
Quando le parti vengono montate per formare il corpo unico del modello deve già essere stato risolto il problema della precisione del loro accoppiamento.

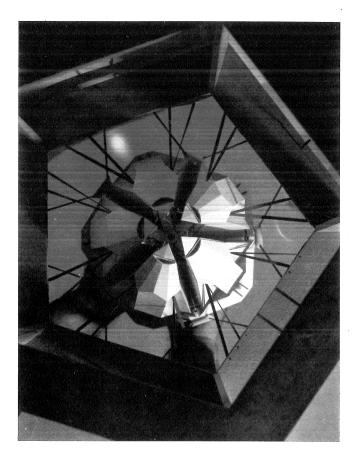
Le parti devono stare in un rapporto organico dimensionale che rappresenta anche la sintesi costruttiva, il modulo di tutte le relazioni di struttura.

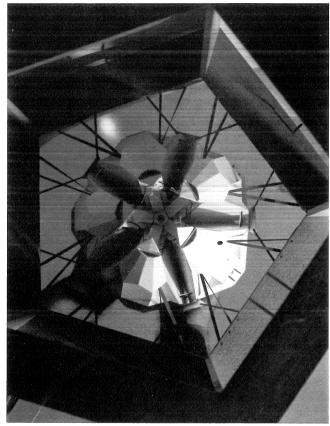
Il modello deve potere visualizzare il grado di sintesi costruttiva cui si è pervenuti. Ciò riguarda non solo quelle parti che sono a contatto tra loro, ma anche le parti della struttura che non sono direttamente a contatto.

Misure, dimensioni, forme, devono rispondere a questo principio.

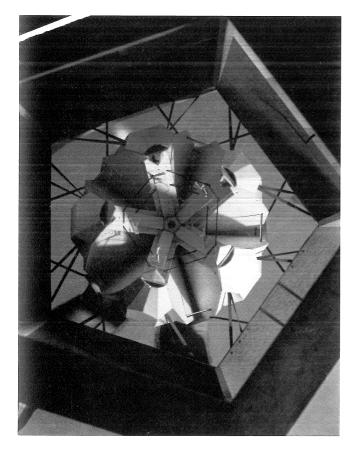
Fase finale del montaggio che mostra il modello inserito su un supporto, l'aprirsi della parte terminale e lo spostamento verso il basso dei denti.

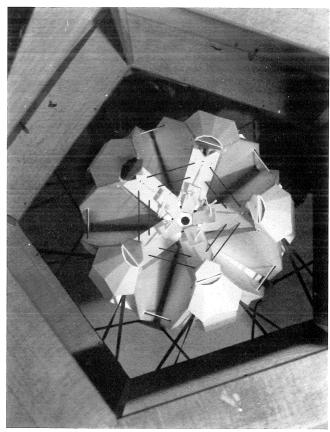


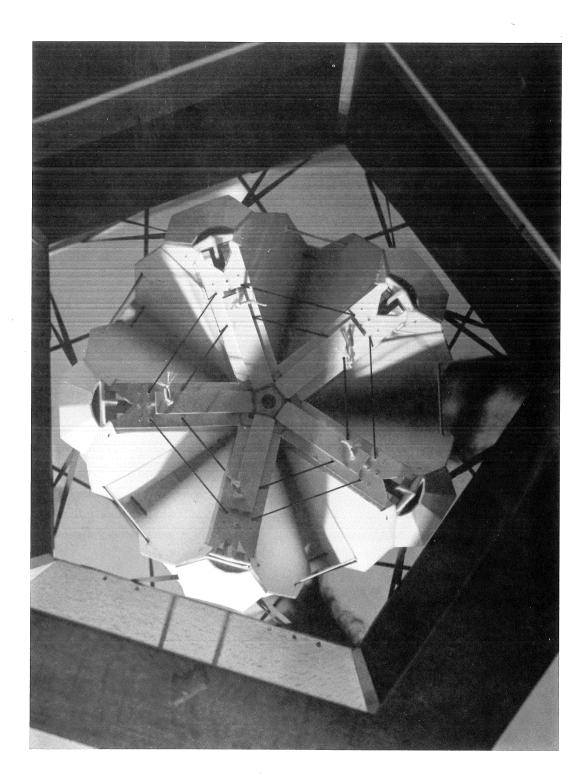




Sequenza, da un minimo ad un massimo, di apertura della bocca del modello.







IL GUSCIO

Si osserva come è fatto il guscio, come si presenta visto di fronte, quale forma assume se lo si guarda dall'alto o dal basso, rigirandolo lentamente tra le dita per capire se la sua forma complessiva mantiene allo sguardo una curvatura costante, o se da qualche traccia appena percepibile, non sia possibile ricostruire la forma di non si sa bene quale poliedro.

Intanto il contatto delle dita con la superficie del guscio comunica una sensazione di rugosità, come se le dita stessero toccando della carta vetrata con qualcosa in più di liscio.

Se si guarda il guscio da più vicino, o meglio ancora, se lo si osserva attentamente attraverso una lente, si vedranno numerose piccole sfere di dimensioni diverse, ciascuna parzialmente affondata dentro un tronco di cono che la sorregge e la cui base maggiore nasce dalla superficie del guscio.

Queste sferette non sembrano disposte a caso, ma ordinatamente distribuite sulla superficie del guscio.

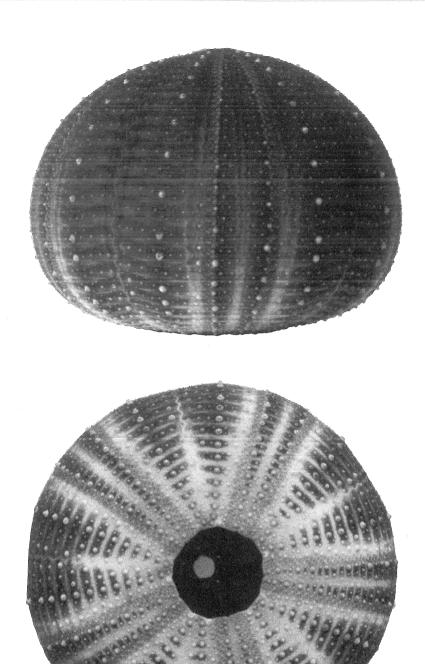
Sembrano trovarsi sulle linee di massima curvatura e sono disposte in file che in senso longitudinale vanno da un polo all'altro del guscio.

Guardando all'interno del guscio, attraverso l'apertura più grande, situata al polo opposto si vede l'apertura più piccola, circondata da cinque minuscoli fori.

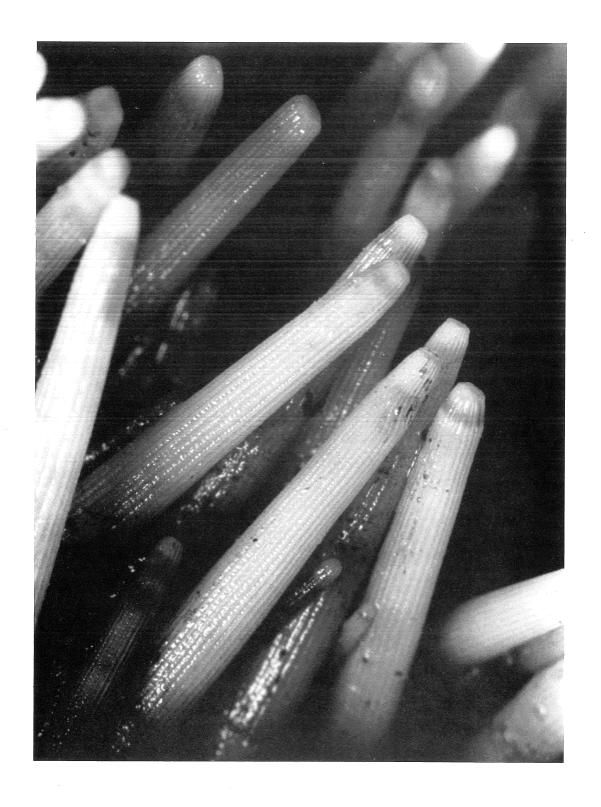
La luce penetra all'interno del guscio anche attraverso file di piccoli fori alternati a due a due a zig zag, formanti un disegno complessivo di cinque coppie di file che hanno i loro punti di origine nei vertici di un pentagono chiaramente visibile situato nella parte superiore del guscio, intorno all'apertura minore.

A partire da ciascuno dei cinque vertici del pentagono due file di fori disegnano due linee divergenti che terminano, senza ricongiungersi, al polo opposto del guscio dove inizia l'apertura maggiore, e dal cui bordo si innalza inclinandosi leggermente verso l'interno del guscio una struttura architettonica dalla forma di corona pentagonale.

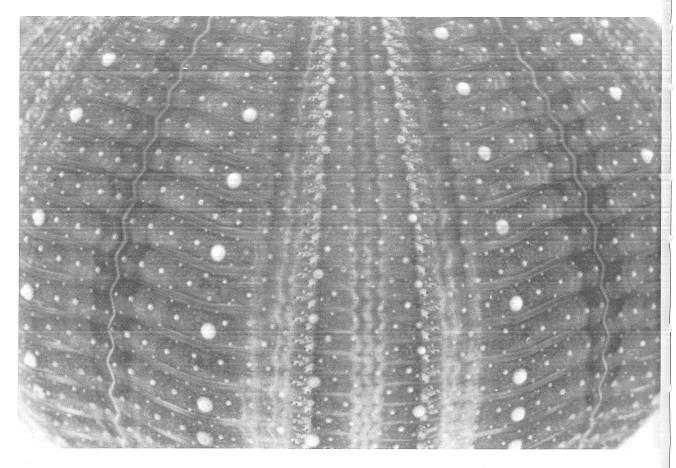
I fori, osservati sulla superficie esterna del guscio si vedono appena, situati come sono tra uno spicchio minore e uno maggiore. Il guscio mostra infatti chiaramente di essere diviso in coppie complementari di spicchi più grandi rispetto a coppie complementari di spicchi di dimensioni minori.



Guscio di riccio di mare visto di fronte e visto dall'alto.

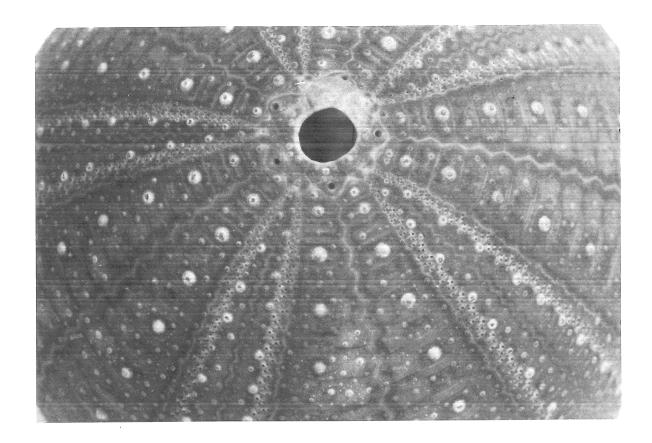


Forme e strutture del guscio ingrandite.



In queste foto, tra le altre forme, si vedono le linee di incastro degli spicchi, e nella foto a fianco l'elemento sferoidale che permette l'articolazione degli aculei alla base del guscio e quindi il movimento del riccio sul fondo del mare o della scogliera sommersa.





IL RICCIO DI MARE

Ricci e stelle di mare sono i più noti fra vari e numerosi abitanti del mare che appartengono adli echinodermi.

Gli echinoidei, o ricci di mare, presentano alcune fondamentali caratteristiche di struttura: il loro corpo può essere sferoidale, cordiforme, a forma di disco schiacciato, con teca costituita di numerose piastre calcaree nella parte più profonda dell'epidermide, in alcuni casi congiunte tra loro in modo da dare rigidità al guscio; in altri, l'unione delle piastre permette al guscio di essere flessibile. Le piastre di solito portano degli aculei che possono essere rigidi, sottili o flessibili, o anche avere la forma di grosse bacchette. Diversi sono i sistemi di organizzazione delle piastre che costituiscono il guscio del riccio: 1. cinque piastre ocellari (a), cinque genitali (b) di cui un madreporite o piastra madreporica (c), formano il sistema detto apicale.

2. Piccole piastre membranose (d) che includono l'ano (e) formano il sistema detto periproctale.

3. L'area membranosa che circonda la bocca forma il sistema detto peristomale.

4. Il sistema detto coronale costituisce quasi tutto il guscio che è formato da file meridiane di piastre che si estendono dalla bocca all'ano; questi ultimi costituiscono i due poli superiore e inferiore della teca.

Nei ricci che hanno forma regolare, globosa, come quelli scelti per questo studio, la suddivisione del guscio dà origine a zone tra loro simili e disposte a raggera intorno ad un asse centrale che passa per la bocca. Queste zone o spicchi sono radiali e interradiali.

Complessivamente sono 20 e perfettamente incastrate tra loro.

Le piastre che formano queste venti file meridiane sono disposte a coppie alterne.

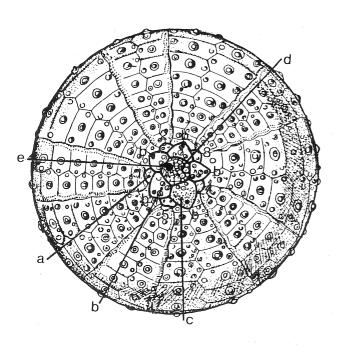
Nel riccio di mare il numero degli spicchi deriva dall'apparente simmetria pentaraggiata, più o meno regolare, in cui l'animale sembra essere suddiviso.

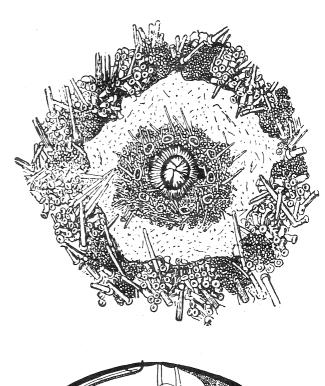
In realtà la simmetria originaria di questo animale è bilaterale.

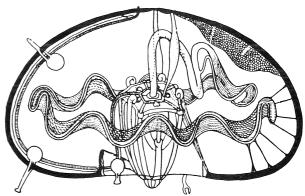
Una netta bilateralità si può osservare nelle larve.

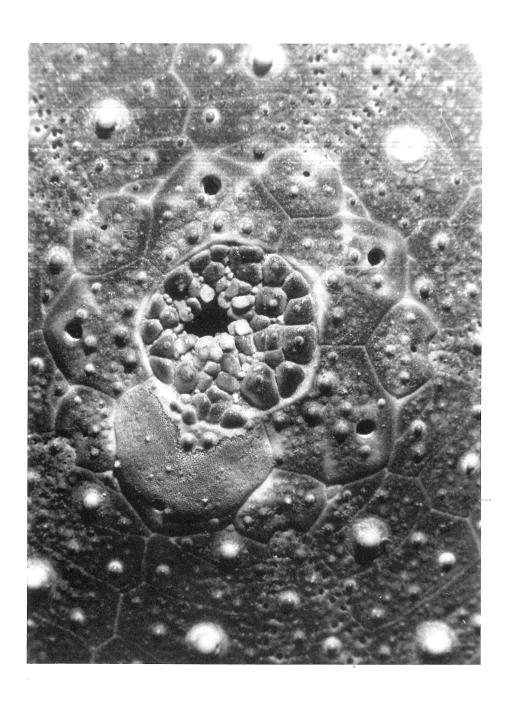
All'estremità inferiore delle superfici interne degli spicchi, si trovano cinque attacchi calcarei sui quali sono inseriti i potenti muscoli retrattori della «lanterna di Aristotele». La lanterna che prende il nome da Aristotele che la studiò, è una struttura scheletrica che sorregge cinque poderosi denti che servono al riccio per ingerire il cibo e scavare nelle rocce sottomarine delle nicchie dove alloggiare. La bocca, costituita da questa struttura scheletrica, di pedicelli, muscoli, e altre parti molli, si apre al centro, al polo inferiore della teca.

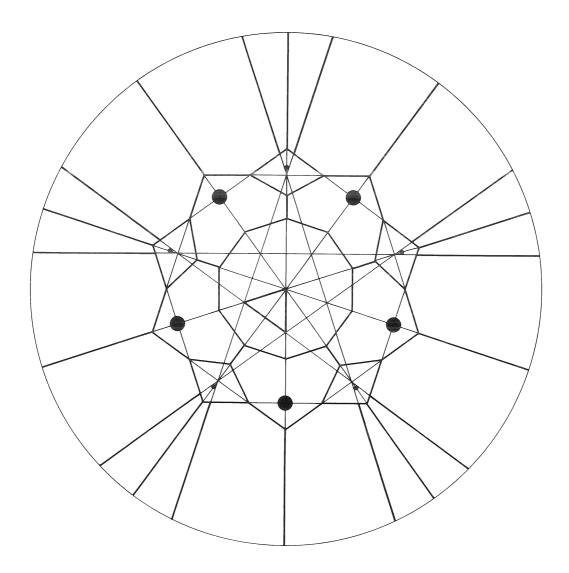
Il riccio muove gli aculei, che sono articolati alla loro base, per «camminare», per spostarsi lentamente sugli scogli sommersi, sul fondo fangoso o sabbioso del mare. Adopera i pedicelli che sono come dei tentacoli molto flessibili ed allungabili per portare il cibo alla bocca.









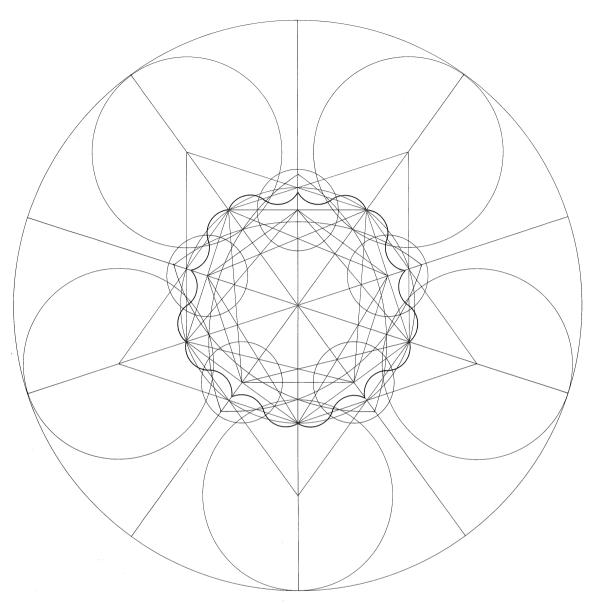


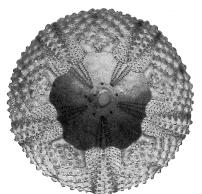
Suddivisione del guscio di riccio di mare. Disegno che mostra una ipotesi di strutturazione geometrica del polo apicale del guscio del riccio.

Secondo questa interpretazione, rispetto a due dei cinque assi di simmetria intorno ai quali si dispongono i venti spicchi in cui si divide il guscio, il corpo pentaraggiato di riccio adulto può essere diviso in quattro parti, ma ciascuna di esse non presenta le condizioni che sono necessarie per evidenziare una simmetria speculare bilaterale regolare. Secondo questo disegno, se un asse di simmetria divide in due parti la piastrina madreporica, una delle due parti in cui risulta diviso il guscio include il polo anale quale elemento che rompe la simmetria.

Viceversa, se l'asse di simmetria divide in due parti il polo anale (rappresentato nel disegno dal triangolo con i lati più marcati) una delle due parti in cui risulta diviso il guscio include quale componente di asimmetria la piastrina madreporica.

Il risultato non cambia se si esegue la stessa operazione con gli altri tre assi.



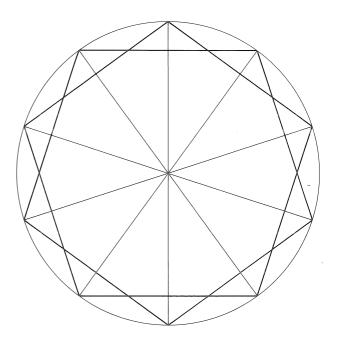


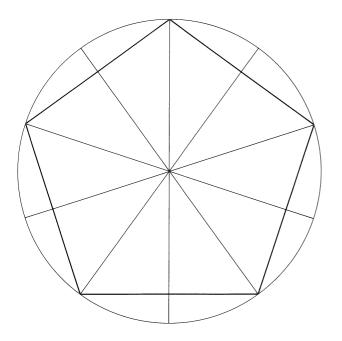
Il disegno evidenzia l'articolazione delle curve che costituiscono il perimetro che racchiude l'area membranosa al centro della quale è situata la bocca del riccio. Interpretazione geometrica del polo apicale della teca.

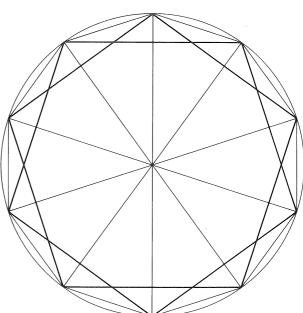
Studio dell'andamento delle linee di divisione del guscio. A partire da un pentagono che viene ruotato intorno al proprio centro e proseguendo con operazioni geometriche tra loro correlate e conseguenti che si sviluppano nel costante riferimento a punti significativi del modulo pentagonale, si precisano i valori angolari che fissano l'andamento delle linee di divisione del guscio, il perimetro del poligono comprendente l'area entro la quale si estende la bocca del riccio, l'inizio e la fine di ciascuna linea di divisione che da punto a punto collega i due poli del guscio.

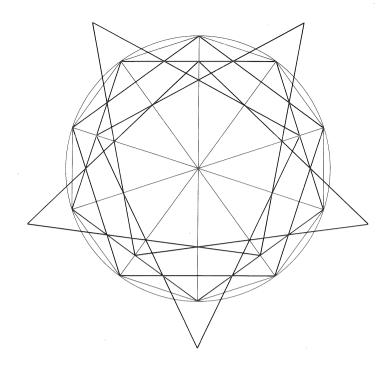
I punti rappresentano gli estremi delle linee che dividono il guscio.

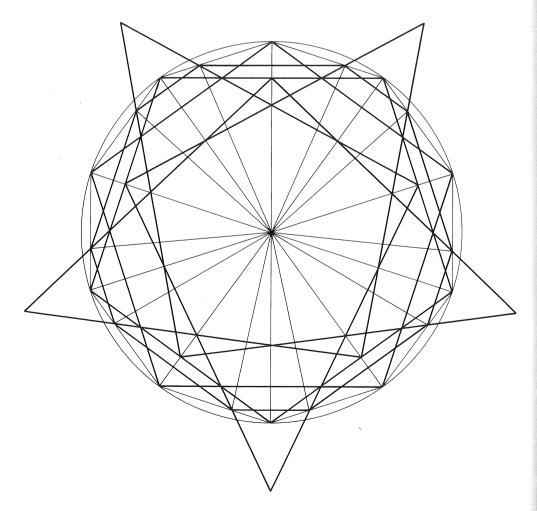
Punti e linee mettono in rapporto i due poli del guscio, il sistema apicale e il sistema peristomale.

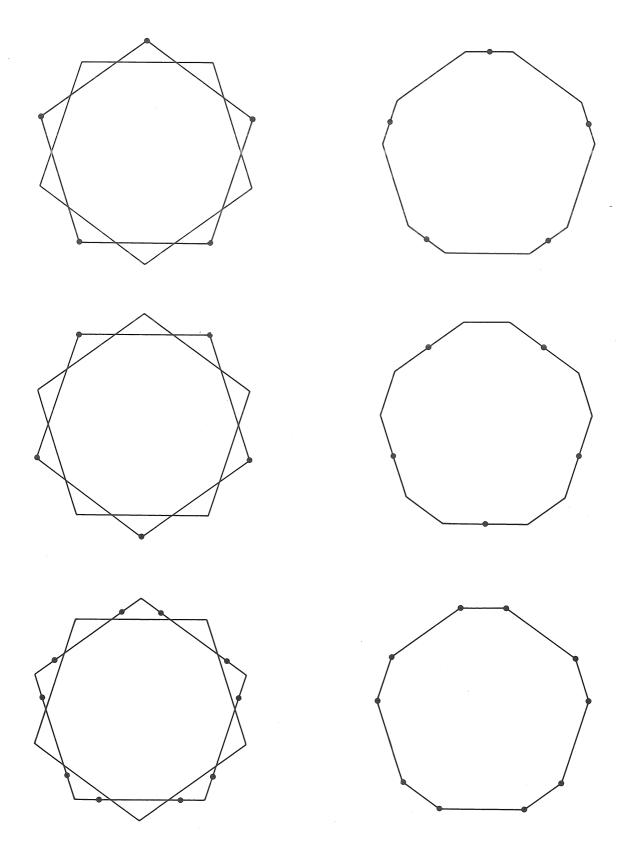


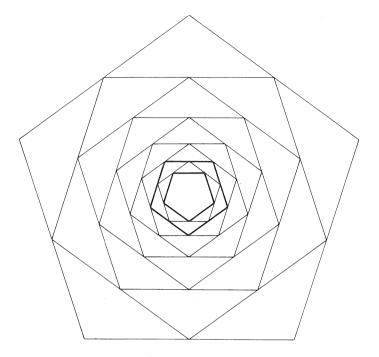




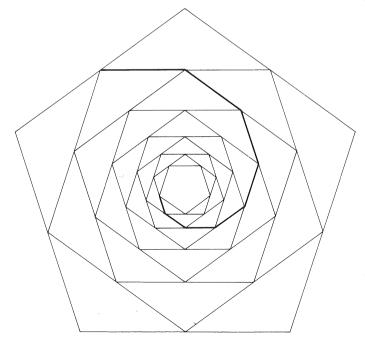


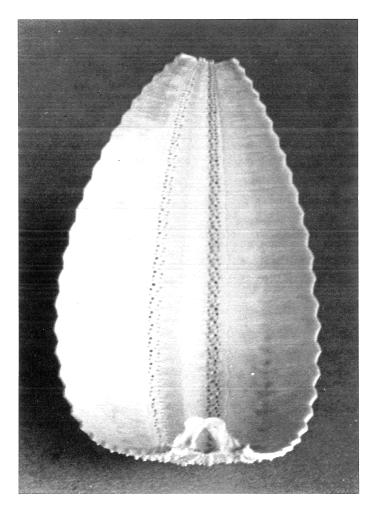






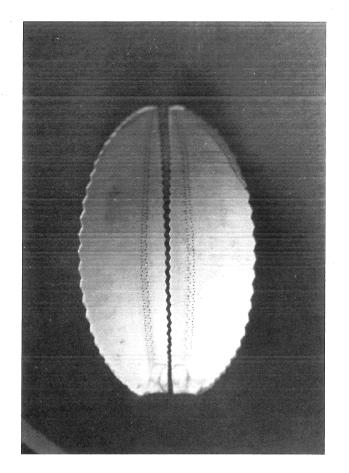
Sintesi dei movimenti di traslazione, rotazione, espansione.

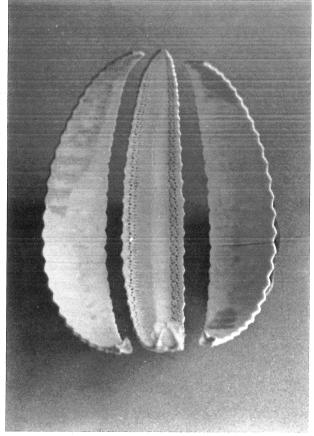


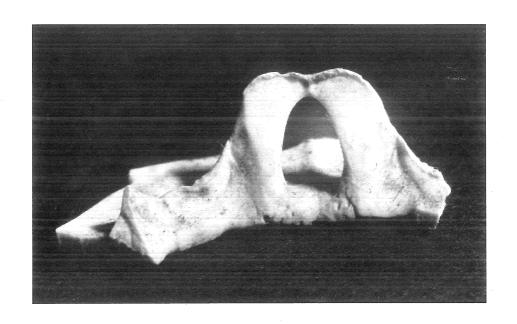


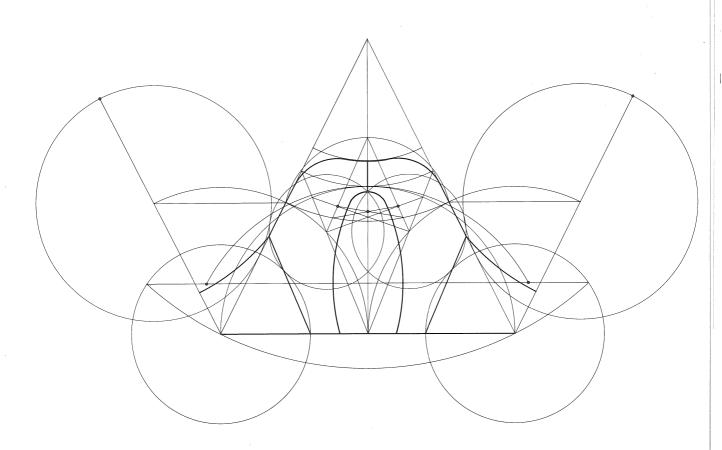
Se con molta attenzione si preme con le dita sul guscio, vicino alle linee di incastro, è possibile separare gli spicchi che formano il guscio.

Si potrà così vedere la sezione delle piastrine che formano il guscio aumentare di spessore man mano che dal polo superiore del guscio si va verso la bocca situata al polo opposto. Non solo. Ma anche come il guscio scomponendosi in venti spicchi complementari riveli di seguire nelle sue linee di sezione un disegno che tende a favorirne nel modo più efficace la solidità, la resistenza meccanica, la leggerezza di tutte le sue componenti. Le foto mostrano anche come gli attacchi dei muscoli retrattori della lanterna vengono sezionati lungo le stesse linee geodetiche che dividono il guscio in spicchi, come si vede nel disegno di ipotesi di ricostruzione geometrica.

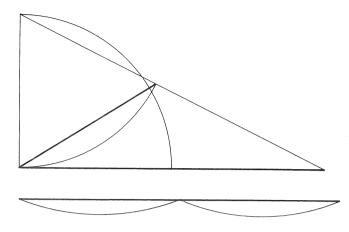


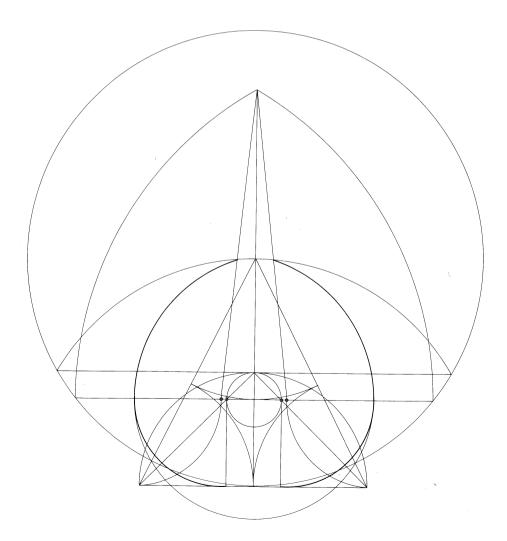


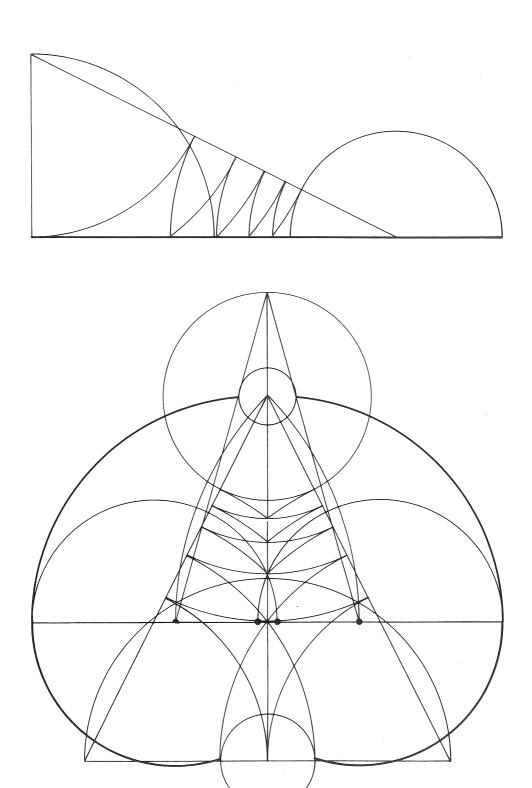




Studio del profilo del guscio. Si misurano, di ciascun esemplare da studiare, altezza e diametro maggiore. A partire da queste due dimensioni si disegnano i profili dei gusci cercando di definire geometricamente curve-profilo più prossime a quelle reali.



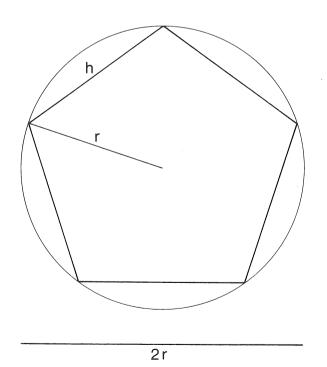


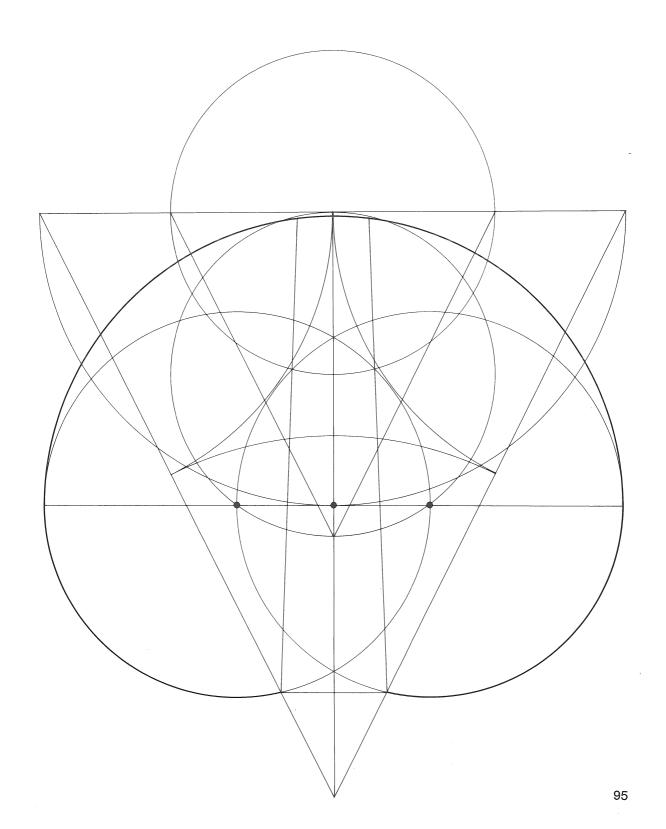


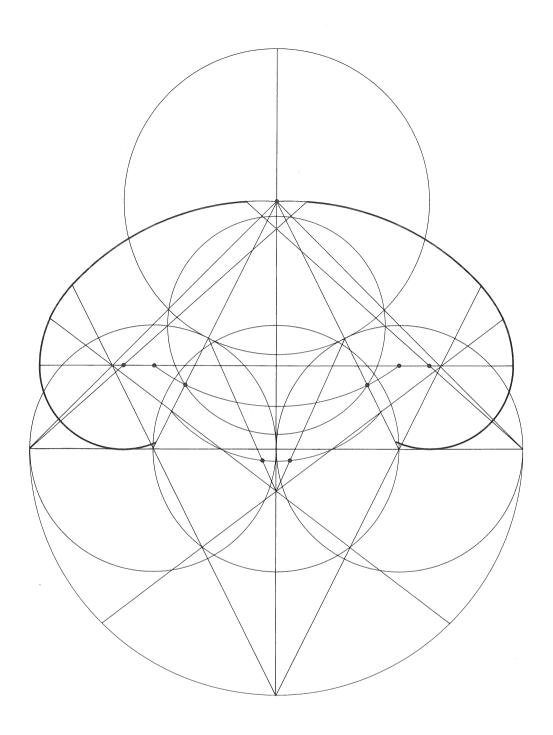
h

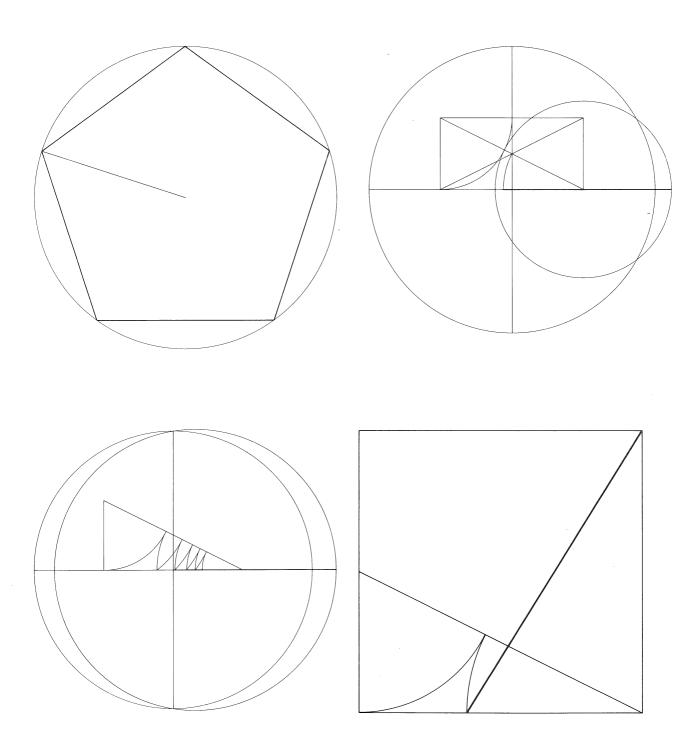
r

In questo caso l'altezza del guscio è uguale al lato del pentagono inscritto nella circonferenza massima del guscio.

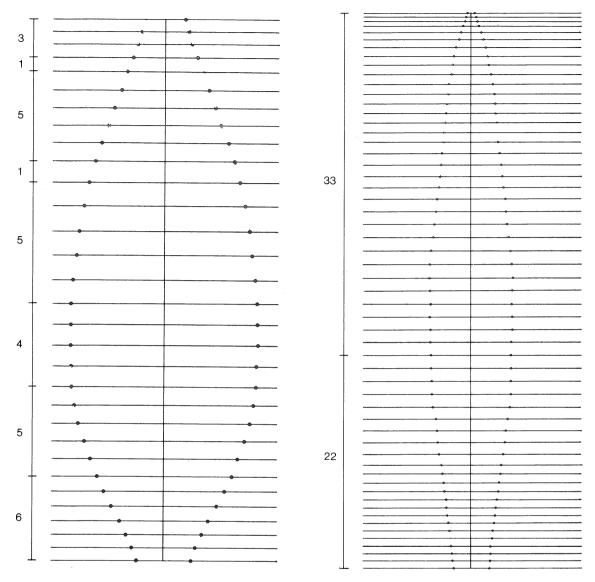








Alcuni modi di costruire il pentagono regolare inscritto in una circonferenza. Il tratto più marcato indica il lato del pentagono.



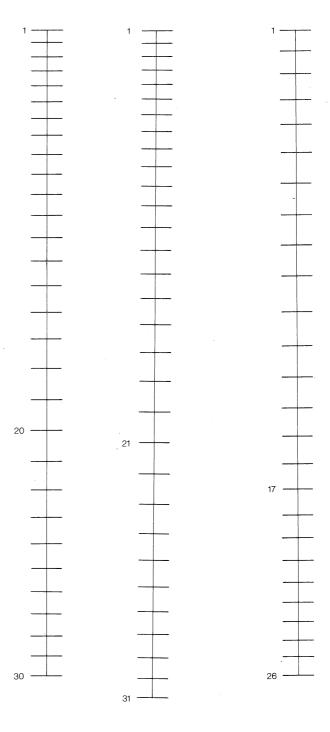
Rilievi di spicchio maggiore e minore.

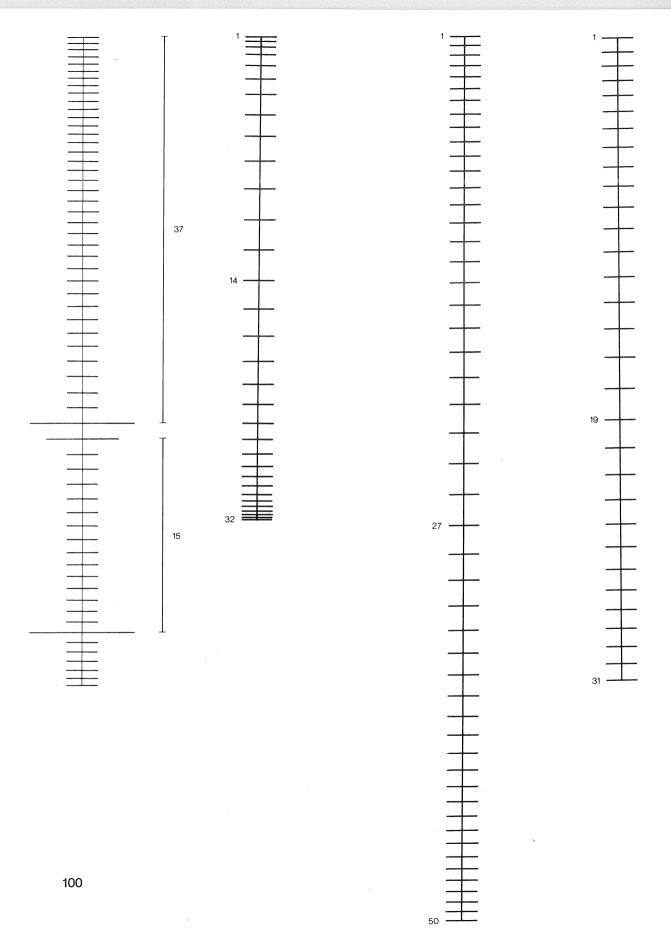
Si sceglie un guscio di riccio.

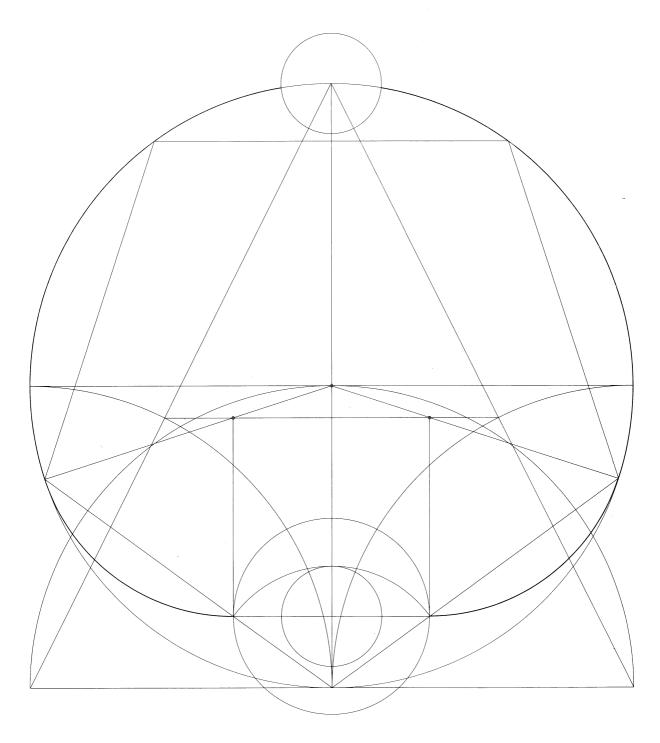
Si analizzano le piastrine che compongono il guscio.

Si cerca di vedere in dettaglio e nell'insieme come sono collegate le une alle altre, la loro grandezza, il loro numero, la loro forma. Si fanno dei rilievi in modo da ottenere tutte le misure necessarie per capire se vi sono dei gruppi di piastrine che hanno le stesse dimensioni, se le piastrine sono tutte diverse, in che rapporti stanno tra loro.

Dopo avere ripetutamente controllato le dimensioni di ciascuna piastrina e constatato che le differenze che possono sussistere tra una data piastrina, la piastrina che la precede e quella che la segue sono spesso impercettibili, si cerca di verificare in quale preciso punto della superficie del guscio le piastrine, che aumentano di dimensioni man mano che si allontanano dal polo apicale, cessano di crescere, per incominciare a decrescere avvicinandosi al polo peristomale. I disegni visualizzano rapporti di crescita e decrescita di piastrine dimensionalmente tutte diverse tra loro.

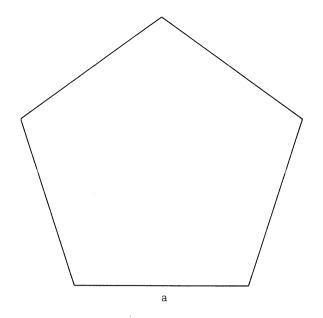




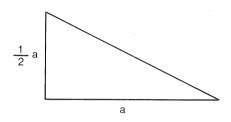


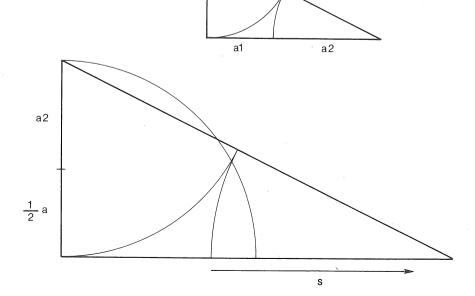
Tenendo conto del rapporto crescitadecrescita delle piastrine, si costruisce un nuovo profilo di guscio sul quale si dovranno distribuire senza resti un preciso numero di segmenti tutti diversi.

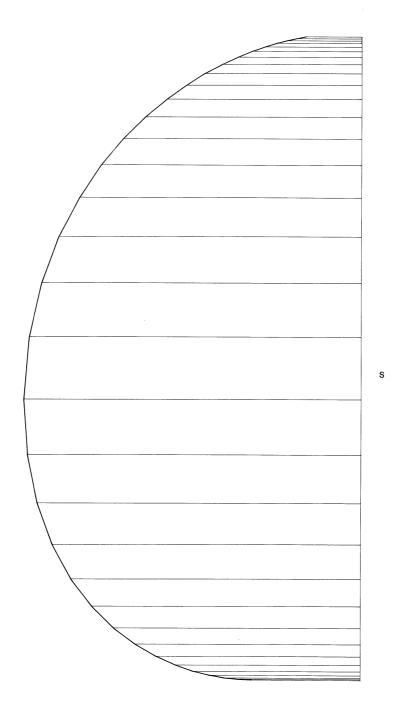
La soluzione di questo problema permetterà poi di costruire modelli di strutture di guscio a piani paralleli orizzontali.



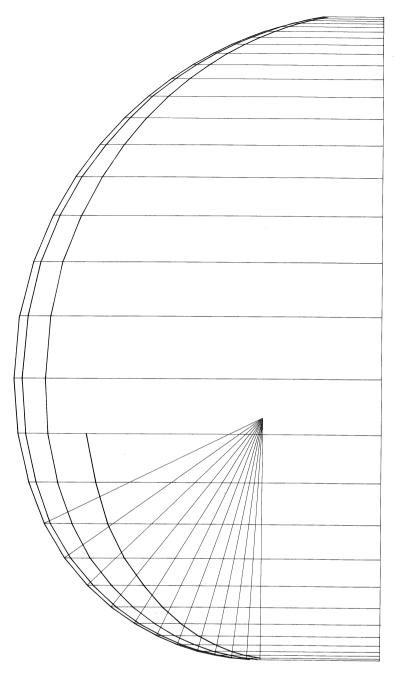
Suddivisione in segmenti del guscio.
Questa operazione consente di ottenere un
numero di segmenti che occupano
esattamente il profilo del guscio.
Il punto crescita-decrescita coincide con il
punto aureo di costruzione della curva.

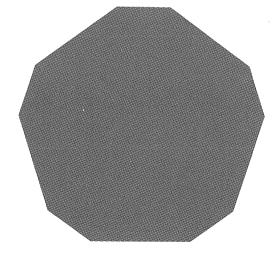






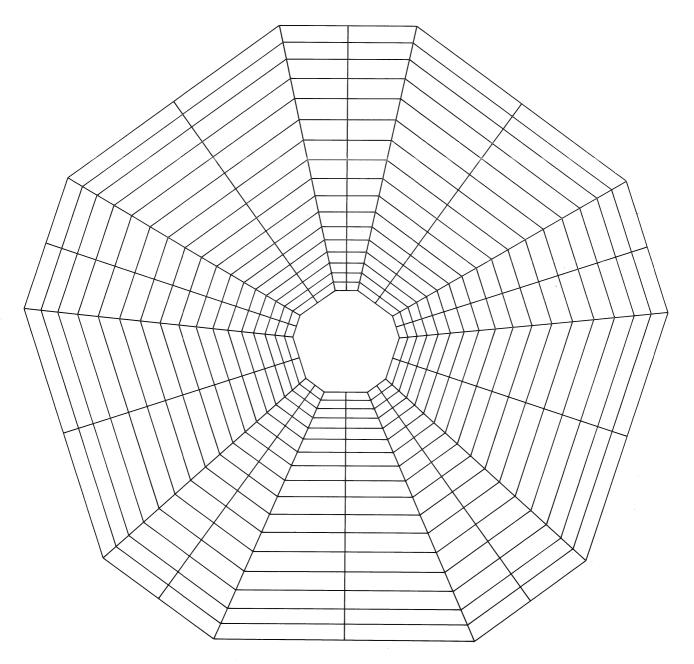
Tracciando dai punti trovati altrettante linee parallele tra loro e perpendicolari all'asse del profilo del guscio è come se si sezionasse con tanti piani il profilo.





Si tratta poi di dare una forma a questi piani. La scelta di una forma poligonale comunque derivata dal modulo pentagonale caratterizzerà la forma tridimensionale complessiva dei vari modelli costruibili. Ci si servirà, per completare questa scelta, delle configurazioni di linee che dividono il guscio in spicchi.

Linee il cui andamento è già stato precisato nello studio di suddivisione del polo apicale. Se la forma è questa si dovranno costruire tante figure dello stesso tipo e di raggio variabile; ciascuno dei raggi avrà la lunghezza di ciascuna delle linee che uniscono i punti con l'asse del profilo.

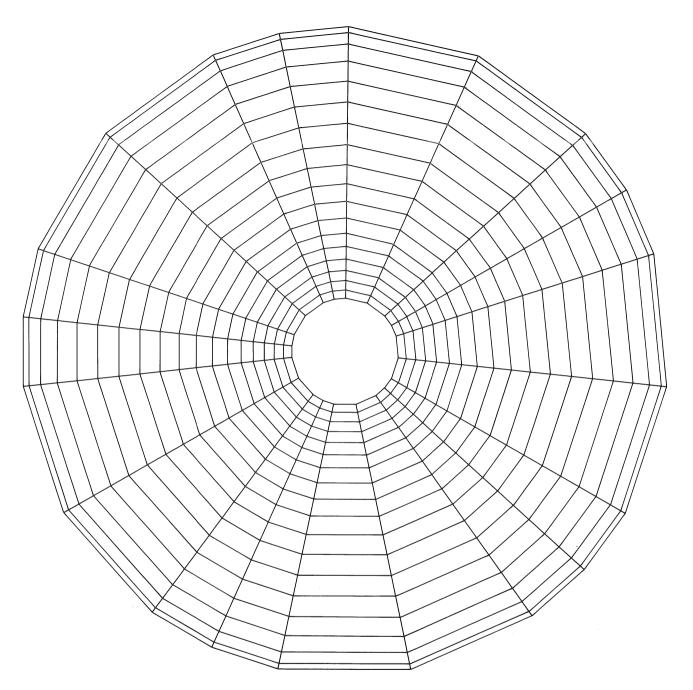


Pianta di modello di guscio.

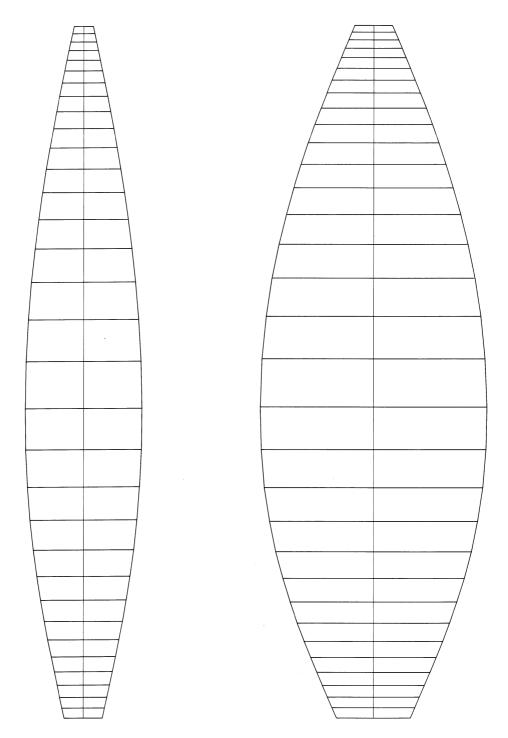
Tenendo conto della forma poligonale scelta si possono avere profili, cioè linee geodetiche, tra loro differenti. I nuovi profili possono essere costruiti a

nuovi profili possono essere costruiti a partire dal primo profilo. In questo modo è possibile costruire anche

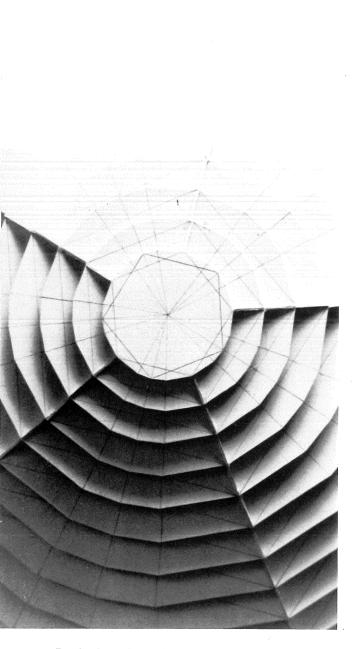
In questo modo è possibile costruire anche degli spicchi che risulteranno perfettamente a contatto tra loro.



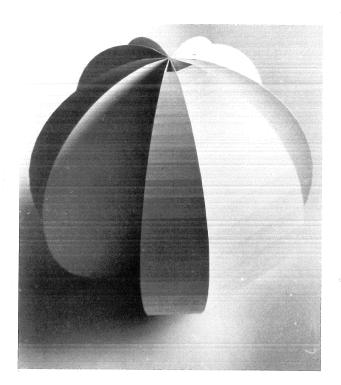
Pianta dello stesso modello di guscio con variazioni del profilo.



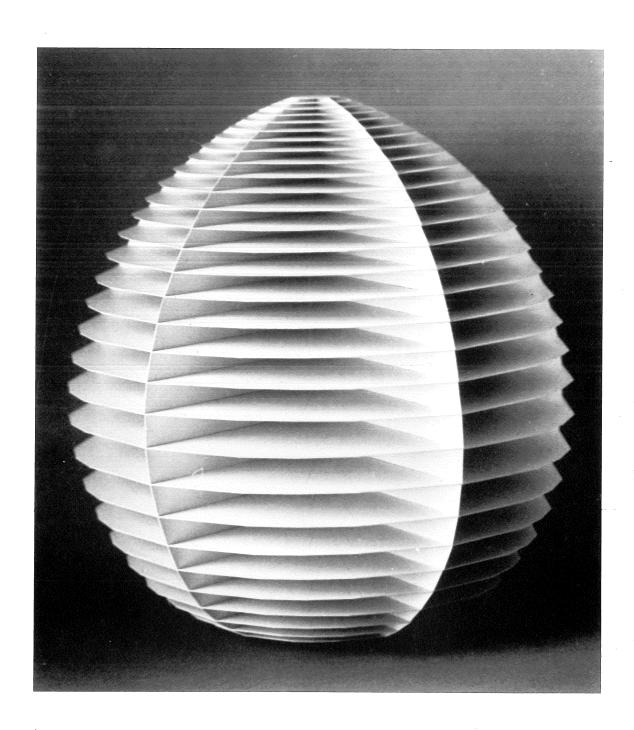
Disegni di spicchio minore e maggiore.

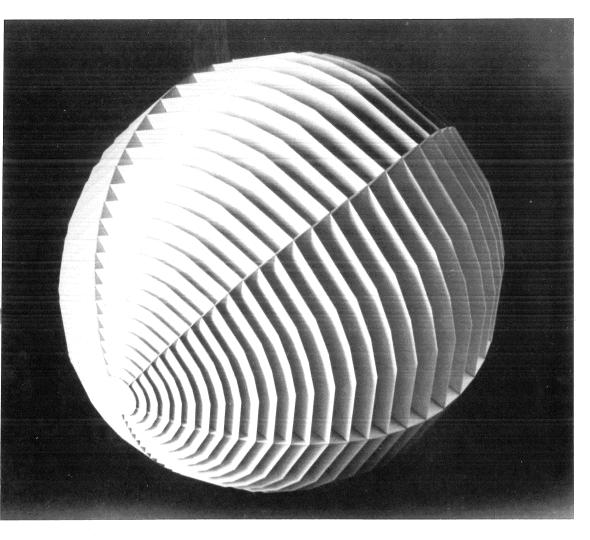


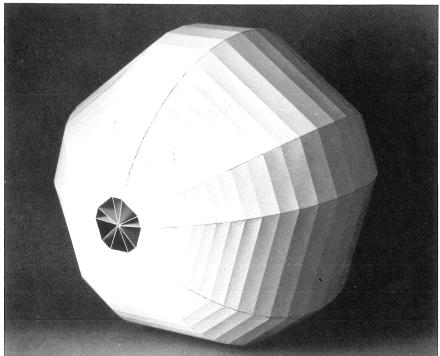
Particolare di modello di guscio visto dall'alto.



Con questi primi modelli si cerca di studiare soprattutto la disposizione spaziale, la composizione dei piani radiali e paralleli. Il passo successivo consiste nel cercare di definire la forma complessiva del modo di stare insieme delle piastrine.







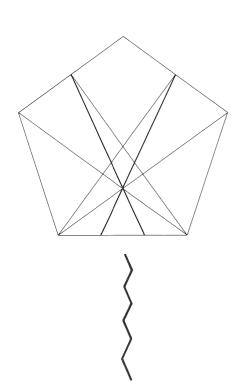
Nel modello naturale le piastrine che costituiscono uno spicchio non sono allineate su uno stesso asse.

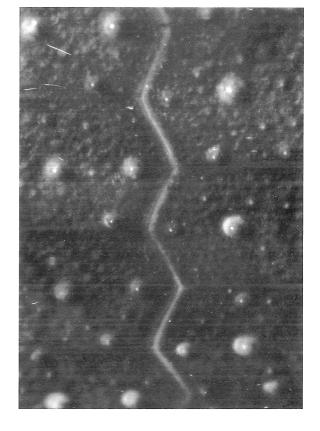
Una fila di piastrine è traslata rispetto alla fila che gli corrisponde lateralmente.

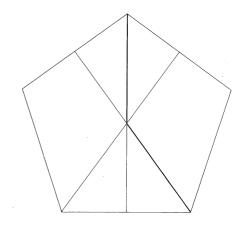
Ciò determina una linea a zig zag che va da un polo all'altro del guscio.

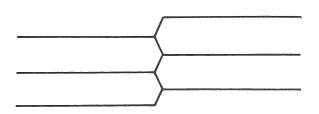
Si studiano i valori angolari delle linee di incastro degli spicchi.

Nella parte terminale del guscio, vicino alla bocca, le piastrine sono contrapposte in modo da formare un angolo di 145° (secondo le linee radiali del pentagono).









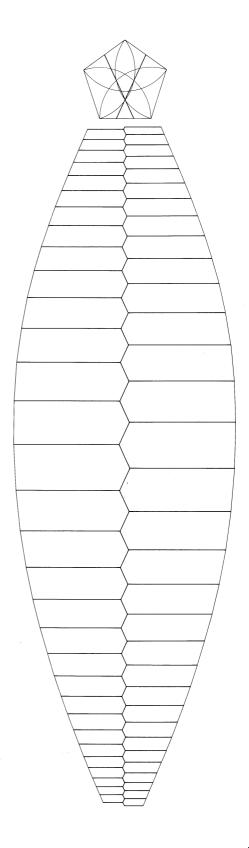
Il disegno a zig zag della linea di incastro degli spicchi è determinato nella sua forma complessiva dal profilo delle due estremità di ciascuna piastrina.

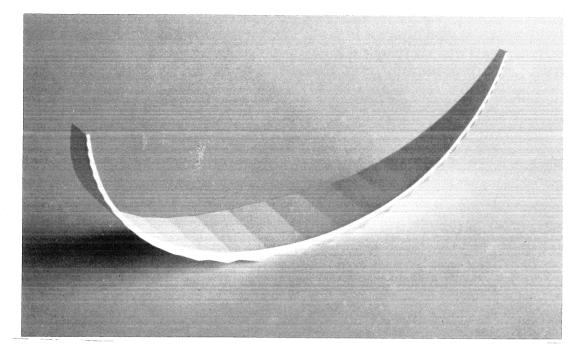
Esso rende praticamente impossibile lo slittamento delle piastrine; è la linea di contatto più lunga possibile; favorisce nello stesso tempo e in modo considerevole la resistenza del guscio agli agenti esterni, per esempio alla pressione dell'acqua, agli urti, ecc.

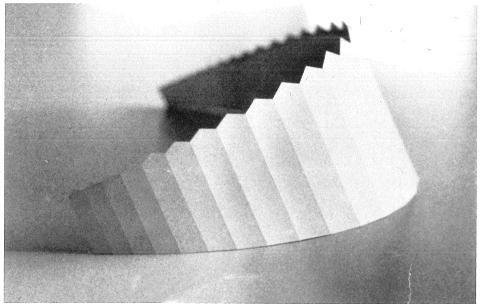
Si può dare una idea visiva di questo fatto sviluppando su una retta i singoli segmenti che formano lo zig zag della linea di incastro degli spicchi.

L'insieme dei segmenti forma una linea, come è ovvio, più lunga della linea che si potrebbe sostituire alla linea a zig zag semplicemente collegando nel modo più diretto possibile, per esempio con una linea detta geodetica, i poli nord e sud del guscio.

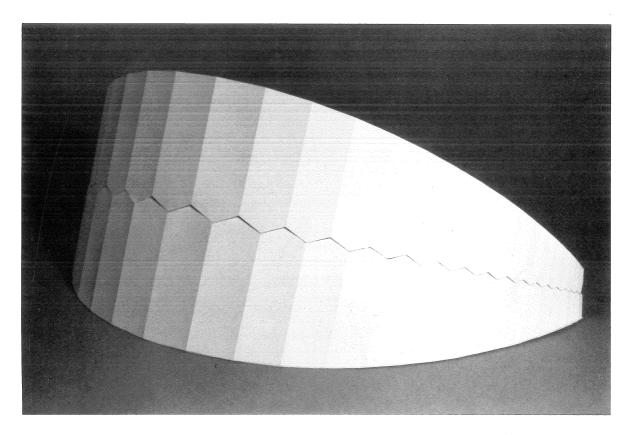
Disegno di uno spicchio nel quale i valori angolari, la linea di cerniera, trovano una giustapposizione ritmica determinata dalla intersezione della serie degli spazi orizzontali (piastrine) in cui è diviso lo spicchio.



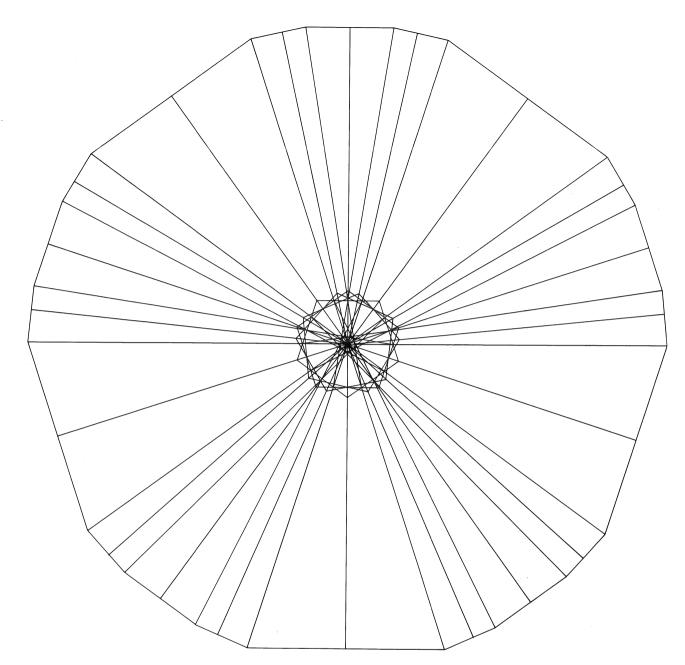




Modelli di spicchio.



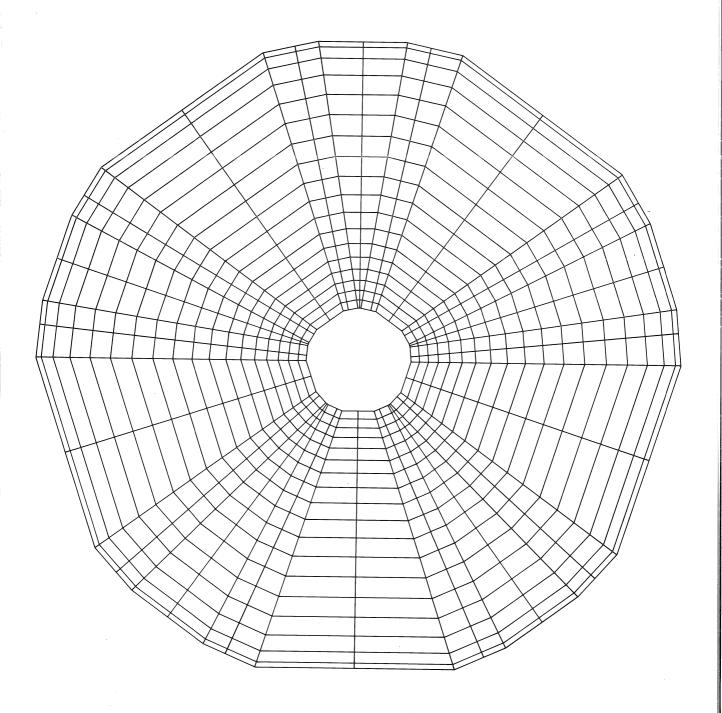
Due degli spicchi a contatto, incernierati.



Naturalmente non tutte le linee di cerniera hanno lo stesso disegno.

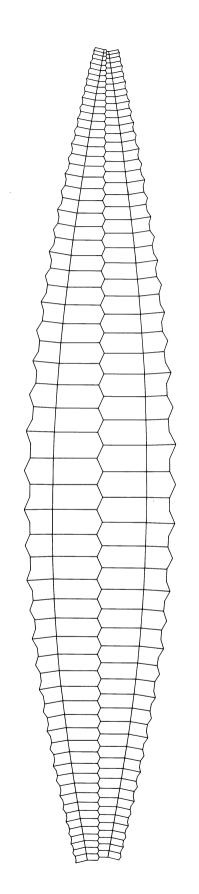
I cinque spicchi maggiori sono divisi in due parti da cinque linee di cerniera che nel modello naturale appaiono simili e che semplificando in senso geometrico possiamo considerare uguali.

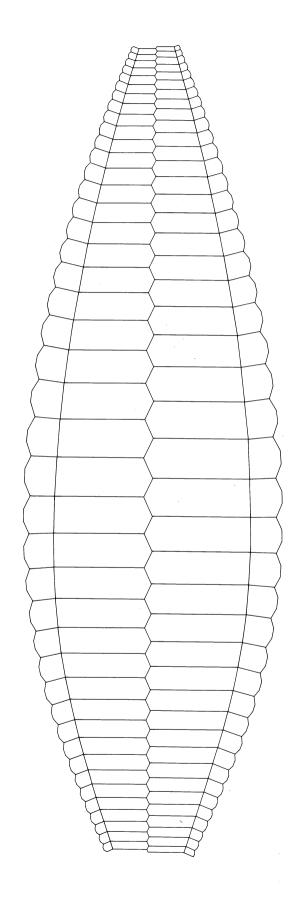
Il disegno e il modello della pagina precedente sono la realizzazione concreta, cioè intendono rappresentare questo tipo di cerniera. I cinque spicchi minori vengono a loro volta divisi in due parti da cinque cerniere che hanno gli stessi valori angolari e quindi una forma complessivamente simile alla cerniera che divide gli spicchi maggiori, anche se come è ovvio queste sono più ridotte come dimensioni perché più piccole sono le piastrine di ciascuno degli spicchi.

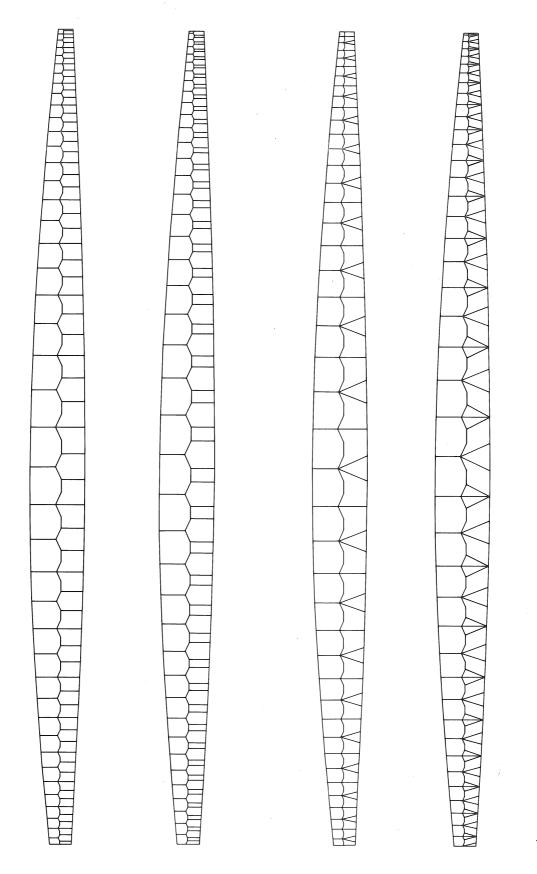


Altre dieci cerniere costituiscono le linee di contatto degli spicchi maggiori con gli spicchi minori.

Queste dieci cerniere hanno una forma diversa dagli altri tipi di cerniera e formano un tipo a sé con caratteristiche formali particolari visualizzate nei disegni che seguono. I disegni che si vedono in queste pagine costituiscono lo sviluppo complessivo di una superficie tridimensionale curva divisa in venti settori (spicchi) che è in analogia, in modo approssimato, con lo sviluppo complessivo della superficie di un guscio di riccio di mare.







ELENCO DI PARTI ANCORA DA STUDIARE

- 1) Aculei.
- 2) Struttura di snodo, di articolazione degli aculei.
- 3) Spessori delle piastrine che formano il guscio.
- 4) Forme a pettine delle pareti interne delle mascelle.
- 5) Punti di attacco del sottile involucro trasparente che ricopre la lanterna di Aristotele.

BIBLIOGRAFIA

Morris Asimow, *Principi di progettazione*, Marsilio, Venezia. 1968.

Lucien Gérardin, *La bionica*, Il Saggiatore, Milano, 1968.

James Gray, Come si muovono gli animali, Feltrinelli, Milano, 1959.

S. A. Gregory, *Progettazione razionale*, Marsilio, Venezia, 1970.

Edward T. Hall, La dimensione nascosta,

Bompiani, Milano, 1968.
Marcello I a Greca, Zoologia dogli invertali

Marcello La Greca, Zoologia degli invertebrati, Utet, Torino, 1977-

Igor Mironov, *La bionica*, Editori Riuniti, Roma, 1974.

Bruno Munari, *Arte come mestiere*, Laterza, Bari, 1966.

Bruno Munari, *Design e comunicazione visiva*, Laterza, Bari, 1968.

Bruno Munari, *Da cosa nasce cosa*, Laterza, Bari, 1981.

Victor Papanek, *Progettare per il mondo reale*, Mondadori, Milano, 1973.

Pasquale Pasquini, *Elementi di zoologia,* Eri, Torino, 1968.

Marc H. Raibert e Ivan Sutherland, *Macchine che camminano*, in: «Le Scienze», n. 175 pag. 46, Milano, marzo 1983.

D'Arcy W. Thompson, *Crescita e forma*, Boringhieri, Torino, 1969.



Quaderni di design

La collana, dedicata in particolare a insegnanti e studenti di educazione tecnica, educazione artistica e design, è un prezioso e stimolante strumento di consultazione per chiunque si interessi alla formazione della cultura di oggi.

I singoli volumi, ampiamente illustrati, hanno per argomento i punti nodali della progettazione: la raccolta dei dati, la sperimentazione, l'aspetto fisico e psicologico del progetto, l'informazione culturale e tecnologica relative a materie e strumenti, la metodologia progettuale, la costruzione di modelli, l'indagine su forme e fenomeni naturali, le regole di coerenza formale, il linguaggio tecnico e la comunicazione visiva.

Nella collana

- 1 Texture a cura di Corrado Gavinelli
- 2 La scoperta del triangolo a cura di Bruno Munari
- 3 Ricerca e progettazione di un simbolo a cura di Pietro Gasperini
- 4 Xerografie originali a cura di Bruno Munari

- 5 Modelli di geometria rotatoria a cura di Giorgio Scarpa
- La scoperta del quadrato a cura di Bruno Munari
- 7 I pieghevoli a cura di Enrichetta Ritter
- 8 Scrittura attiva a cura di Ugo Carrega
- 9 La scoperta del pentagono a cura di Aldo Montù
- 10 Colore: codice e norma a cura di Narciso Silvestrini e Ave Tornaghi
- 11 Creatività nella tessitura a cura di Renata Bonfanti
- 12 Uno spettacolo di luce a cura di P. Castiglioni, D. Mosconi, B. Munari
- 13 Modelli di bionica a cura di Giorgio Scarpa

In preparazione

14 Arte e simmetria a cura di Mario Gilardi

La natura che dagli artisti è vista di solito sotto l'aspetto formale e cromatico, può essere esplorata sotto l'aspetto strutturale per capire i perché delle forme e le relazioni con le funzioni. Da questa indagine analitica se ne possono costruire modelli dimostrativi, utili alla progettazione del design, per risolvere particolari problemi.