

a cura di
Laura De Carlo, Leonardo Paris

Le linee curve

per l'architettura e il design

FORME DEL DISEGNO
FrancoAngeli

FORME DEL DISEGNO

Collana diretta da Elena Ippoliti, Michela Rossi, Edoardo Dotto

La collana FORME DEL DISEGNO si propone come occasione per la condivisione di riflessioni sul disegno quale linguaggio antropologicamente naturale, al tempo stesso culturale e universale, e che indica contemporaneamente la concezione e l'esecuzione dei suoi oggetti.

In particolare raccoglie opere e saggi sul disegno e sulla rappresentazione nell'ambito dell'architettura, dell'ingegneria e del design in un'ottica sia di approfondimento sia di divulgazione scientifica.

La collana si articola in tre sezioni: PUNTO, che raccoglie contributi più prettamente teorici su tematiche puntuali, LINEA, che ospita contributi tesi alla sistematizzazione delle conoscenze intorno ad argomenti specifici, SUPERFICIE, che presenta pratiche ed attività sperimentali su casi studio o argomenti peculiari.

Comitato editoriale - indirizzo scientifico

Carlo Bianchini, Pedro Manuel Cabezas Bernal, Andrea Casale, Alessandra Cirafici, Paolo Clini, Edoardo Dotto, Pablo Lorenzo Eiroa, Fabrizio Gay, Elena Ippoliti, Leonardo Paris, Sandro Parrinello, Fabio Quici, Michela Rossi, Andrew Saunders, Graziano Mario Valenti

Comitato editoriale - coordinamento

Andrea Casale, Elena Ippoliti, Leonardo Paris, Fabio Quici, Graziano Mario Valenti

Progetto grafico

Andrea Casale



Il presente volume è pubblicato in open access, ossia il file dell'intero lavoro è liberamente scaricabile dalla piattaforma **FrancoAngeli Open Access** (<http://bit.ly/francoangeli-oa>).

FrancoAngeli Open Access è la piattaforma per pubblicare articoli e monografie, rispettando gli standard etici e qualitativi e la messa a disposizione dei contenuti ad accesso aperto. Oltre a garantire il deposito nei maggiori archivi e repository internazionali OA, la sua integrazione con tutto il ricco catalogo di riviste e collane FrancoAngeli massimizza la visibilità, favorisce facilità di ricerca per l'utente e possibilità di impatto per l'autore.

Per saperne di più:

http://www.francoangeli.it/come_pubblicare/pubblicare_19.asp

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: www.francoangeli.it e iscriversi nella home page al servizio "Informatemi" per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.

a cura di
Laura De Carlo, Leonardo Paris

Le linee curve

per l'architettura e il design

FORME DEL DISEGNO
Sezione
PUNTO

FrancoAngeli

Università Sapienza di Roma, dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura

In copertina: immagine di Leonardo Paris

Copyright © 2019 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore ed è pubblicata in versione digitale con licenza *Creative Commons Attribuzione-Non Commerciale-Non opere derivate 4.0 Internazionale* (CC-BY-NC-ND 4.0)

L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

Indice

Presentazione Andrea Giordano	7
Introduzione Laura De Carlo, Leonardo Paris	11
Parte prima	
<i>Alle origini delle teorie geometriche</i>	
Le linee curve nell'evoluzione del pensiero geometrico nel periodo classico <i>Leonardo Paris</i>	19
Le linee curve tra geometria e analisi nel Rinascimento matematico <i>Laura De Carlo</i>	45
<i>Le linee curve nella progettazione della forma</i>	
Geometria delle linee curve per la genesi della forma <i>Marta Salvatore</i>	73
La rappresentazione digitale delle linee curve <i>Matteo Flavio Mancini</i>	109

Le linee curve per l'architettura e il design

Parte seconda

La spirale cilindrica nelle scale rinascimentali e barocche <i>Leonardo Paris</i>	145
Lo spazio della linea. Il tiburio di Sant'Andrea delle Fratte <i>Giovanna Spadafora</i>	171
Le generatrici tecnologiche <i>Maria Laura Rossi</i>	183
Il ruolo delle curve generative nel design nautico <i>Michele Russo</i>	197
Le linee coniugate <i>Leonardo Paris</i>	211
Dalle linee curve alle superfici libere e viceversa nei modelli digitali dell'architettura <i>Matteo Flavio Mancini</i>	227
Traiettorie curvilinee tra architettura, teatro, cinema e design <i>Massimo Zammerini</i>	237
Linea, curva, taglio, cartamodello. Il disegno nel progetto anti-effimero della moda <i>Massimiliano Ciammaichella</i>	253
English abstracts	267
Bibliografia	275
Gli autori	285

Presentazione di Andrea Giordano

Questo volume si configura come un apparato critico/esegetico di una tematica che mi è particolarmente cara, la Geometria. Pienamente d'accordo con quanto asseriscono Laura De Carlo e Leonardo Paris nell'introduzione, questa disciplina, infatti, va intesa come centrale sia nello sviluppo progettuale dal punto di vista creativo che nella possibilità di rendere concreta una forma attraverso la sua effettiva costruzione. Concordo, inoltre, con loro nel ribadire l'importanza della Geometria solida come settore di ricerca, direi "ri-emergente", in grado di connettere e combinare geometria, architettura e design. Tutto questo è ampiamente e profondamente spiegato, provato ed illustrato dagli autori, anche grazie ad un eccezionale apparato grafico-documentale, in grado di comunicare sia il tema delle curve nella loro prospettiva storica (parte prima) che – attraverso alcuni casi studio esemplificativi – di affrontare l'utilizzo delle linee curve in diversi ambiti di applicazione (parte seconda). Lo scopo – effettivamente raggiunto – è quindi quello di ampliare il ventaglio degli strumenti critici da porre a disposizione del lettore: proponendo quindi molteplici punti di vista. Gli autori forniscono gli strumenti per raggiungere una completa consapevolezza nell'ambito dello studio delle linee curve attraverso le azioni del vedere, del pensare e del giudicare criticamente, un'architettura o un qualsiasi oggetto di design. L'utilizzo dei suddetti tre verbi – vedere, pensare e giudicare criticamente – mi

Le linee curve per l'architettura e il design

consente di evidenziare che le linee e le superfici di un oggetto, anche nel caso dell'architettura, necessitano dello spazio per rendersi evidenti, spazio che viene sperimentato come il dato che precede gli oggetti in esso contenuti, un ambito nel quale ogni "cosa" prende il suo posto. D'altronde, proprio l'architettura può essere considerata come una disposizione di costruzioni entro uno spazio determinato, omogeneo e continuo. In termini fisici, così, lo spazio è definito dall'estensione delle superfici dei corpi, confinanti gli uni con gli altri. Il ruolo delle linee e delle superfici, quindi, risulta essere fondamentale, proprio perché agevola la percezione dello spazio che, sotto il profilo psicologico, avviene grazie all'involuppo di esse nell'atto di costituire le superfici delle "cose". Quantunque lo spazio, una volta stabilito, venga sperimentato come un dato sempre presente ed autosufficiente, la sua esperienza sensoriale nasce solo attraverso l'interrelazione degli oggetti. La percezione dello spazio si verifica, così, soltanto in presenza di cose percepibili: ed esse, non solo nel caso dell'architettura o degli oggetti di design, saranno costituite da linee e superfici, reali o virtuali. Sotto il profilo psicologico, inoltre, la nozione di spazio inteso come contenitore, che esiste cioè anche in assenza di oggetti, deve sempre far fede su di un sistema di riferimento, che potrà essere, nel caso dello spazio in cui viviamo, la semplice superficie calpestabile, nel caso dello spazio geometrico – "rappresentante" astratto della realtà –, i piani coordinati o il quadro, a secondo del metodo di rappresentazione.

Se rimaniamo ancora nel campo dell'esperienza dello spazio, bisogna fare riferimento ad un interessante "meccanismo" percettivo tra osservatore e realtà osservata, evidenziato da Arnheim¹ ne' La dinamica della forma architettonica. Il critico tedesco ipotizza che agli astronauti venga cancellato dalla mente il ricordo di tutti i corpi pesanti: in questa maniera, nell'osservare la Terra una volta ritornati, costoro istituiranno una connessione lineare che costituirà l'asse di un mondo unidimensionale. Il rapporto percettivo con l'oggetto sarà così "lineare". Anzi, come osserva Arnheim: «[...] la connessione stabilita dall'osservatore fra sé e la sua meta viene sperimentata come una retta. In linea di principio essa potrebbe assumere qualsiasi configurazione scelta fra un numero infinito di curve, cerchi o linee spezzate dei tipi più irrazionali. La scelta economica della connessione più breve costituisce un'elementare applicazione del principio di semplicità della psicologia della Gestalt: ogni pattern creato, adottato o selezionato dal sistema nervoso sarà quello più semplice consentito dalle condizioni date»². Dopo di che, facendo un ulteriore passo in avanti, si ipotizza una condizione per così dire superficiale, quando Arnheim prende in considerazione, assieme al sistema astronauta-Terra, il Sole, come terzo punto di riferimento: per

il principio della semplicità, tale situazione creerà nella mente degli astronauti una struttura triangolare, essendo il triangolo la struttura più semplice compatibile con i tre punti. Si passerebbe, così, da un mondo unidimensionale, lineare, ad uno che esiste su una superficie, bidimensionale. Ed in questo sistema la terza dimensione non esiste, né interessa in che maniera quel piano triangolare sia orientato nello spazio. Arnheim infatti avverte il lettore: «Dal momento che abbiamo a che fare con l'esperienza psicologica dello spazio, molto dipende dal modo in cui l'osservatore concepisce, e quindi struttura, la situazione. Se per esempio altri oggetti si inserissero nella gamma dei tre già presenti e agissero in accordo con essi, ciò influirebbe sulla risultante costellazione. In questo caso, tutto dipenderebbe dalla forza relativa delle parti contendenti»³. Perciò la piattezza della situazione triangolare risulterebbe compromessa solo se il quarto oggetto fosse forte, determinando una disposizione tridimensionale, e il piano triangolare potrebbe essere sostituito da un poliedro, nel nostro caso con quattro spigoli e quattro facce.

Se, quindi, la conquista percettiva dello spazio avviene gradualmente, passando da una fase unidimensionale a quelle più complesse, bi- e tridimensionali, ci si rende conto che, prendendo in considerazione l'architettura – o qualsiasi altro lavoro umano che abbia a che fare con lo spazio –, il più semplice atto architettonico comporta un'operazione tridimensionale, dal momento che detto atto esiste grazie a un mattone (o qualsiasi altro materiale da costruzione) che è un oggetto a tre dimensioni, a sua volta costituito da linee e facce/superfici; tuttavia, anche dopo aver raggiunto la fase di percezione tridimensionale, ciò che un osservatore coglie, come configurative di quello spazio, saranno, nuovamente, linee e superfici, che conformano quell'architettura o l'ambiente circostante, con il loro sempre più vertiginoso intrico dinamico⁴.

1 Arnheim 1977.

2 *Ivi*, p. 21.

3 *Ivi*, p. 23.

4 Cfr. Giordano 1999, p. 21.

Introduzione

di Laura De Carlo, Leonardo Paris

Considerando la geometria al centro sia del processo creativo della progettazione che della concretizzazione della forma nella costruzione vera e propria, lo studio della geometria solida delinea un settore di ricerca attualmente emergente al confine tra geometria applicata e architettura, specie in un momento in cui l'analisi e la produzione si manifestano attraverso forme sempre più complesse. La geometria costruttiva contemporanea trova nella *architectural geometry* un grande potenziale che dimostra come le conoscenze geometriche possano essere alla base di un uso creativo del digitale.

La geometria descrittiva, nei suoi più recenti sviluppi, consente il controllo delle forme tridimensionali in uno spazio virtuale all'interno del quale le operazioni di costruzione e rappresentazione, anche dinamica, della forma si avvicinano al processo progettuale in architettura come nel design.

Gli attuali strumenti informatici, assai più potenti di quelli tradizionali, costituiscono da una parte il mezzo per semplificare e realizzare procedure semplici di problemi classici che, per la loro complessità, era prima impensabile affrontare in forma sintetica; dall'altra innesca un processo generativo della forma che va ben oltre il repertorio classico. Ciò grazie anche ai potenti strumenti parametrici per la generazione ed il controllo di forme complesse, sistemi dinamici modificabili in tempo reale che permettono di creare legami concettuali ed effettivi tra i diversi livelli di approfondimento progettuale.

Le linee curve per l'architettura e il design

Gli studi che formano questa pubblicazione vogliono indagare, da ottiche diverse, il ruolo delle linee, in particolare le linee curve, intese come matrici formali di ogni processo creativo volto alla costruzione della forma in diversi campi di applicazione.

D'altronde le linee sono le figure geometriche che più frequentemente si incontrano nella teoria e nella pratica e lo studio delle teorie ad esse associate risultano indispensabili dal momento che la soluzione di un problema relativo alla costruzione della forma si riduce sempre al tracciamento di una o più linee e alla ricerca degli elementi ad esse comuni.

Lo studio delle proprietà e della delineazione di queste figure geometriche risulta fondamentale in tutto lo sviluppo storico della geometria a partire dall'antichità, basti pensare alla teoria delle coniche di Apollonio di Perga. Nonostante il notevole livello di conoscenza sulla geometria raggiunto nel mondo antico, soprattutto nel periodo ellenistico, anche in questo campo del sapere seguirà un lungo periodo di letargo cosicché è solo nel Seicento che si può parlare di una vera e propria teoria delle linee e delle superfici curve. Partendo dalla rivisitazione dell'eredità greca la scuola francese ed europea sviluppa le nuove teorie della geometria analitica e dell'analisi moderna in un arco temporale limitato che a ragione è stato chiamato il «Rinascimento matematico». Il contributo dell'analisi alla teoria delle curve porterà a descriverle secondo i principi cartesiani e sarà solo nella prima metà del Settecento che tali principi saranno estesi allo spazio per rappresentare quelle curve che nel sistema cartesiano a tre dimensioni saranno riferite a due piani di proiezione di un diedro solido e saranno perciò dette curve a doppia curvatura.

La corrispondenza tra le operazioni della geometria descrittiva e quelle dell'analisi informa lo studio di questi enti geometrici in ambito matematico, in un'altalenante ricerca tra geometria sintetica e geometria analitica che porterà Gino Loria a scrivere agli inizi del Novecento: «Pretendere che tutte le costruzioni di geometria descrittiva si riducano al tracciamento di rette e circonferenze e alla ricerca dei punti o delle tangenti a esso comuni, sarebbe certamente troppo; ma lo scopo a cui si deve tendere è questo che, senza introdurre ipotesi troppo restrittive alla esposizione dei dati, nelle costruzioni non entrino, all'infuori delle linee date (immaginate già completamente tracciate ovvero costruibili per punti e per tangenti) altre linee all'infuori di quelle il cui uso fu concesso ai geometri da Euclide il grande legislatore della scienza dell'estensione. Ora da quanto esponiamo emerge che tale intento si può spesso conseguire apportando lievi ritocchi alle costruzioni classiche».

Un primo ambito di interesse riguarda quindi i metodi di analisi delle curve, pia-

ne e gobbe, articolato in funzione delle loro proprietà analitiche, differenziali e geometriche e alla traduzione in forma sintetica di tali proprietà, nonché alla esposizione di alcune famiglie di curve. Un secondo ambito di approfondimento storico è stato quello dell'applicazione delle linee in alcuni specifici ambiti di costruzione di forme per l'architettura e per l'ingegneria. Si sono infine indagati gli aspetti più innovativi di costruzione della forma nel campo dell'architettura e anche in particolar modo nel campo del design in relazione alle specificità e alle potenzialità offerte dai più moderni sistemi tecnico-costruttivi.

Si è voluto inoltre indagare sulle possibili ripercussioni della conoscenza degli aspetti geometrici di questi elementi in ambito pratico nei campi dell'architettura e del design, accomunati da una stessa formazione culturale ma che si distinguono soprattutto nel ruolo che può assumere una specifica configurazione formale nella sua traduzione in un elemento architettonico e in un oggetto di design dove minori sono i vincoli tecnologici e funzionali.

La modellazione informatica, intesa come un vero e proprio laboratorio virtuale, permette di sperimentare e verificare le possibili e pressoché infinite configurazioni formali in grado di costituire la matrice progettuale della forma architettonica e dell'oggetto di design.

La costruzione di modelli digitali di rappresentazione permette di rivisitare le teorie classiche nella loro evoluzione storica esplicitando, attraverso idonee visualizzazioni, moltissime proprietà geometriche spesso relegate nell'alveo dell'analisi matematica e delle sue espressioni astratte.

Il volume è strutturato in due parti: la prima raccoglie quattro saggi teorici che affrontano il tema delle curve nella loro prospettiva storica. La seconda propone, in alcune esemplificazioni, l'uso delle linee curve in diversi ambiti di applicazione.

Nella prima parte si è voluto delineare un quadro teorico sulle origini delle teorie matematiche alla base della conoscenza delle proprietà di questi enti geometrici e sulla loro ricaduta nella progettazione della forma, sia in chiave storica che analizzando i più recenti strumenti digitali oggi a disposizione.

Si è voluto considerare un lungo arco temporale che va dal mondo classico alla rivoluzione cartesiana che irrompe nella matematica all'inizio del Seicento, ancora largamente dominata dal paradigma della matematica classica, fino all'invenzione del calcolo differenziale alla fine del secolo per poi esplorare le nuove vie della geometria sintetica tra Settecento e Ottocento e per verificare infine come questo lungo processo abbia avuto una ricaduta sui più recenti metodi di modellazione digitale.

Le linee curve per l'architettura e il design

La seconda parte del volume raccoglie alcuni saggi dai quali emerge l'ampio spettro di possibili applicazioni sull'uso della linea curva nel processo progettuale: dall'architettura, al design, dalla nautica, al mondo della moda, dalle teorie geometriche degli ingranaggi, alle *freeform* dell'architettura contemporanea. Saggi che testimoniano l'importanza della conoscenza delle proprietà delle curve per la genesi e il controllo della forma.

Le linee coniugate

di Leonardo Paris

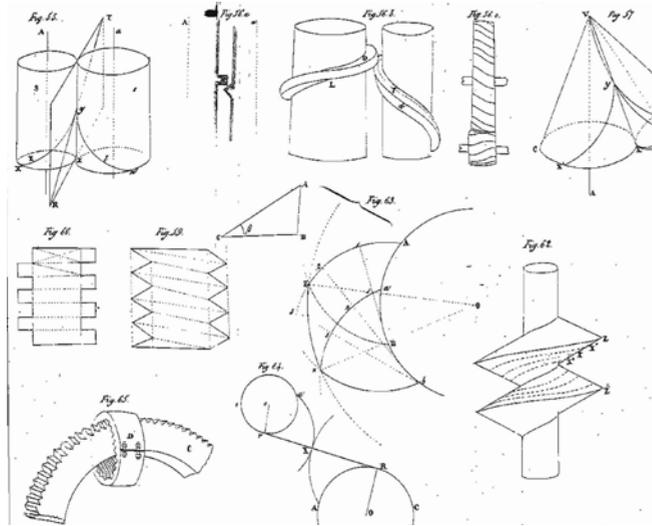
Il movimento di un ingranaggio si basa sulla rigorosa applicazione di principi geometrici che ne consentono il corretto funzionamento. In un ingranaggio si riconoscono sempre delle superfici che nel loro movimento imprimono o ricevono una spinta reciproca mantenendo delle precise relazioni e proprietà geometriche. Queste geometrie si definiscono "coniugate". Le linee che sono alla base di queste superfici si definiscono per l'appunto "linee coniugate".

Gli ingranaggi sono meccanismi conosciuti sin dall'antichità. Un primo studio specifico e dettagliato in cui vengono individuati i primi elementi facenti parte dell'ingranaggio come le ruote, le leve e le pulegge lo si deve in epoca ellenistica ad Erone d'Alessandria che descrive in maniera accurata un "odometro", cioè un misuratore di distanza.

Un'applicazione molto utile nell'antichità è quella relativa al pompaggio dell'acqua nei mulini nei quali si fa largo uso di ruote dentate per la trasmissione del moto. A Leonardo da Vinci – come anche ad al-

Le linee curve per l'architettura e il design

Fig. 1/ Disegni di ingranaggi, dal trattato di Codazza 1854.



tri "ingegneri" rinascimentali – si devono numerose descrizioni, anche grafiche, della concatenazione dinamica fra più elementi.

Se si parla invece di ricerche geometriche degli ingranaggi, quelle cioè che sono alla base di una vera e propria "teoria geometrica", uno dei precursori è il matematico Philippe de La Hire (1640-1718) al quale si devono descrizioni sulle proprietà delle epi-ipo-cicloidi e cicloidi piane applicate agli ingranaggi per la costruzione esatta dei profili dei denti. Il primo trattato teorico sugli ingranaggi lo si deve a Charles Etienne Louis Camus (1699-1768) cui sono seguiti i contributi di molti grandi matematici e geometri del Settecento e dell'Ottocento quali Eulero, Hachette, Lefebvre, Monge, Olivier. A quest'ultimo si deve la pubblicazione a Parigi nel 1842 dell'opera *Théorie géométrique des engranages*. Uno dei trattati italiani più importanti e completi è *La Teoria geometrica degli ingranaggi* di Giovanni Codazza (fig. 1), pubblicato a Milano nel 1854, cui segue alcuni anni più tardi il primo dei tanti contributi di Domenico Tessari a cavallo del nuovo secolo. Nel '900 lo studio geometrico degli ingranaggi non registra particolari

novità; di contro si registra un enorme progresso soprattutto tecnologico unito allo sviluppo sempre più specifico delle macchine di precisione.

Recentemente il tema è tornato di attualità anche grazie alle potenzialità offerte dalla modellazione digitale e parametrica attraverso cui è possibile costruire ingranaggi virtuali sia secondo configurazioni già ampiamente codificate sia, al tempo stesso, sperimentando nuove soluzioni potendone verificare in tempo reale l'efficacia dinamica. Grazie al crescente sviluppo delle moderne tecniche di prototipazione questi modelli virtuali possono facilmente tradursi in modelli fisici prototipali.

Gli ingranaggi

Un ingranaggio si compone di diverse parti di cui quella più importante è la ruota dentata, cioè quella parte composta da elementi sporgenti, i denti, distribuiti in maniera uniforme ed intervallati da spazi vuoti, i vani. La ruota è generalmente fissata ad un albero di rotazione.

L'ingranaggio è pertanto un meccanismo elementare costituito da una ruota dentata che ingrana con un'altra ruota dentata o con una cremagliera o con una vite senza fine allo scopo di trasmettere un movimento (fig. 2). Gli ingranaggi possono essere utilizzati per trasmettere il moto rotatorio fra due o più assi, o per convertire il moto rotatorio in moto progressivo; in questo caso sono organi meccanici studiati nella cinematica, cioè nella teoria dei meccanismi¹.

Su questi presupposti particolare importanza riveste lo studio delle forme geometriche dei denti, affinché la trasmissione del moto avvenga nelle condizioni più favorevoli a raggiungere la soluzione del problema dinamico. Negli ingranaggi la trasmissione del movimento avviene attraverso delle ruote dentate. In questa trasmissione di moto gli assi possono essere: paralleli, concorrenti o sghembi (fig. 3).

1 Nel caso in cui gli ingranaggi vengono utilizzati per trasmettere l'azione di un motore ai diversi meccanismi destinati a produrre un determinato effetto meccanico, lo studio fa parte della dinamica delle macchine, attraverso cui valutare la porzione di lavoro consumata dall'attrito durante la trasmissione del movimento.

Le linee curve per l'architettura e il design

Fig. 2/ Esempi di ingranaggi.



2 Un altro elemento che concorre a definire un diverso tipo di ingranaggio è quello dell'attrito cioè della forza dissipativa che si esercita tra due superfici a contatto tra loro e che si oppone al loro moto relativo. Quando due linee si muovono l'una sull'altra si possono avere i seguenti casi: la prima curva ruota sull'altra senza scorrere o strisciare (attrito volvente); la prima curva scorre sull'altra senza ruotare (attrito radente); la prima curva ruota e scorre contemporaneamente sull'altra. Se nel movimento le curve si muovono l'una sull'altra mantenendosi a contatto si ha un attrito diretto; altrimenti, quando questa condizione non è soddisfatta si ha un attrito angolare. Si può avere quindi un: moto di rotazione ed attrito volvente diretto od angolare; moto di scorrimento ed attrito radente diretto od angolare.

In ciascun caso può verificarsi che il rapporto tra le velocità angolari rimanga costante oppure variabile. Nel primo caso si hanno gli ingranaggi a rapporto di velocità costante; nel secondo caso gli ingranaggi a rapporto di velocità variabile.

Un requisito fondamentale nella identificazione delle superfici dei denti è che queste debbono conservarsi a contatto durante il movimento rotatorio delle ruote; come detto, quando le superfici dei denti di due ruote di un ingranaggio soddisfano questa condizione si dicono coniugate. In un ingranaggio le superfici dei denti possono venire a contatto secondo una linea o conservarsi progressivamente a contatto in un punto. Nel primo caso l'ingranaggio si definisce di forza, nel secondo di precisione².

La dentatura di un ingranaggio può essere esterna, interna o laterale. Il primo caso è la disposizione classica che dà all'ingranaggio una forma raggiata, con i denti rivolti verso l'esterno. Nel secondo caso questa disposizione lascia il bordo esterno liscio, mentre nella parte interna sono presenti gli ingranaggi diretti verso l'asse. Vi sono infine anche denti disposti lateralmente; questa disposizione fa assumere all'ingranaggio una forma simile a una corona di un re.

Gli ingranaggi si possono classificare prima di tutto in funzione della disposizione reciproca degli assi ed

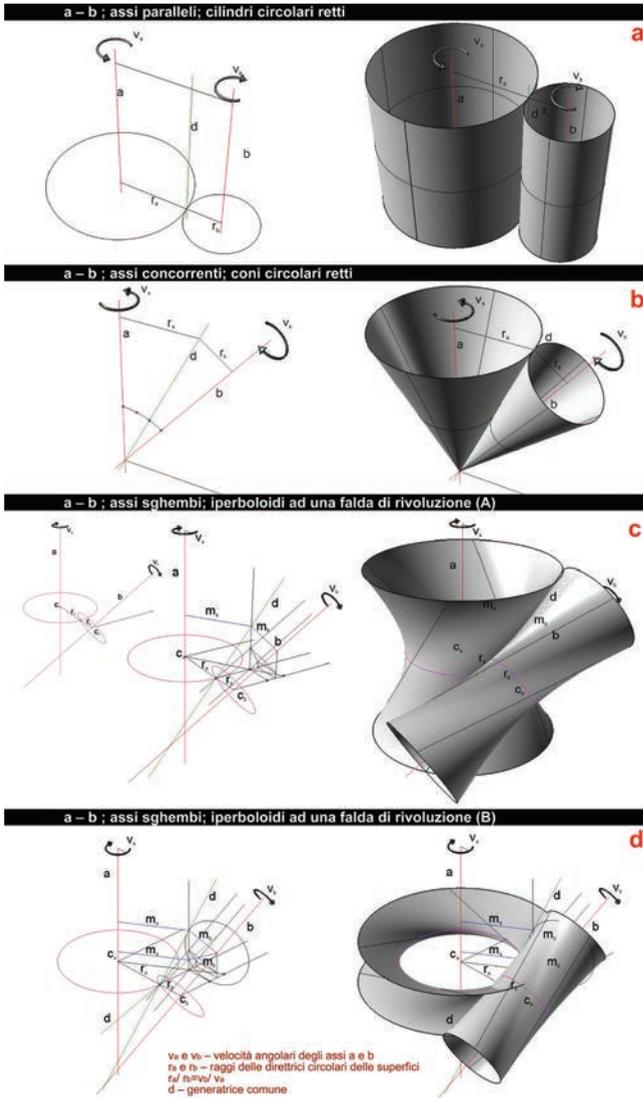


Fig. 3/ Superfici coniugate relative ai nuclei degli ingranaggi (gli elaborati di questo capitolo, ove non diversamente specificato, sono dell'autore).

anche in funzione della disposizione della dentatura, per cui si ottengono per esempio le ruote dentate semplici, elicoidali, a doppia elica, le ruote coniche a denti dritti o a corona ipoide, il rocchetto o cremagliera, la vite senza fine o ingranaggi non circolari. Tralasciando in questa sede gli aspetti geometrici legati alle diverse tipologie di nuclei (cilindrici, conici e iperboloidei) ed alle posizioni reciproche degli assi

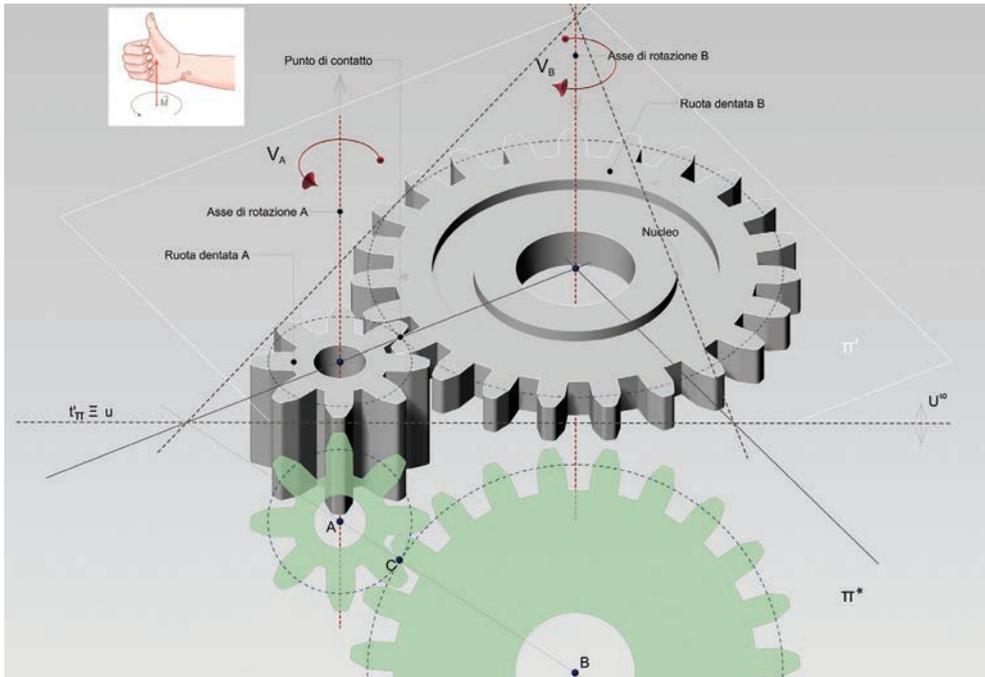


Fig. 4/ Ingranaggio semplice composto da due ruote dentate (Prokopios).

3 Per un'analisi più approfondita sui più recenti studi sugli ingranaggi cfr. Paris 2012a, Paris 2012b, Ceccarelli, Cigola 2012, Prokopios 2015.

4 Un ingranaggio è "semplice" quando una sola ruota conduce in una sola direzione l'altra; "simmetrico" quando una ruota può condurre l'altra sia in un verso che nell'altro; "reciproco" quando ciascuna ruota può assolvere allo stesso compito in entrambi i versi.

5 Alcuni aspetti teorici del problema vengono necessariamente rimodulati in fase costruttiva nel momento in cui occorre tener conto del cosiddetto gioco dell'ingranaggio.

(paralleli, concorrenti o sghembi)³, vediamo in che modo le proprietà di una linea curva condizionano il profilo dei denti e, di conseguenza, la trasmissione del moto.

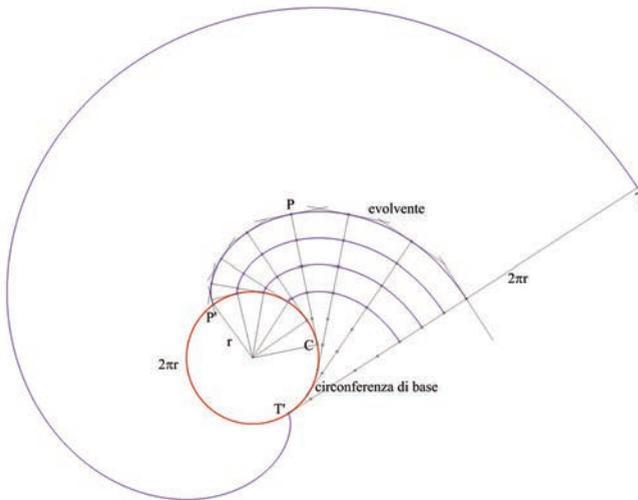
Le linee coniugate come matrici formali dei denti di un ingranaggio

Un tipico ingranaggio è quello formato da due ruote, entrambe con nuclei cilindri, ad assi paralleli (fig. 4).

I denti hanno una estensione limitata rispetto al nucleo e nel moto rotatorio rimangono in contatto solo per una certa frazione di tempo e di spazio. L'ingranaggio quindi deve essere progettato per garantire la continuità del moto per cui quando un dente perde il contatto con il suo coniugato il dente successivo deve avere già ingranato l'altro⁴.

Questa condizione ha ripercussioni sulle dimensioni complessive della ruota, sul numero, sulle dimensioni e sul passo dei denti⁵.

Fig. 5/ Evolvente di una circonferenza.



Quale ruolo hanno le proprietà di una linea curva nella costruzione del profilo dei denti di un ingranaggio di questo tipo?

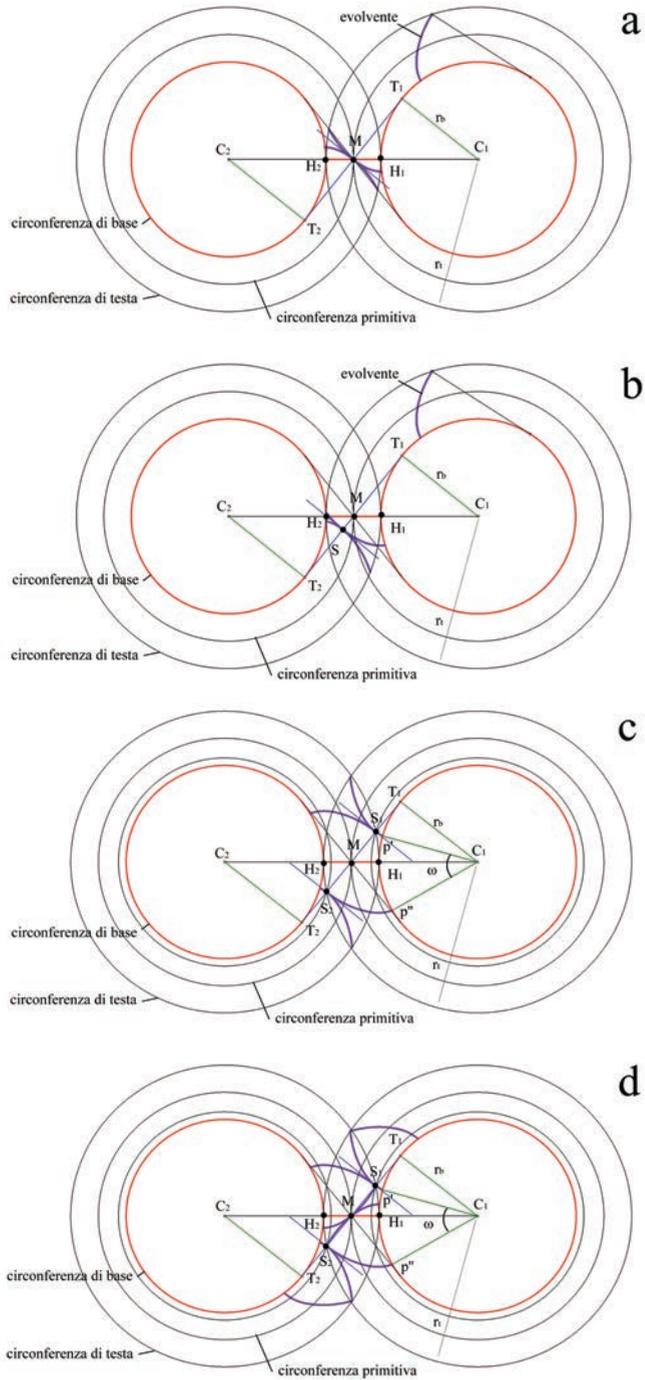
Esistono diversi metodi pratici per la costruzione del profilo di un dente ma da un punto di vista strettamente geometrico la linea che più di altre soddisfa la condizione di permanenza del contatto tra i due profili coniugati durante la rotazione è "l'evolvente della circonferenza", cioè il luogo dei punti descritto da un punto di una retta tangente in C (fig. 5) alla circonferenza di base a rotazione conclusa cade sulla circonferenza in P' percorrendo un settore circolare di lunghezza pari alla distanza del punto CP.

L'evolvente della circonferenza è l'involuppo delle perpendicolari alle rette tangenti. Per ogni punto della circonferenza è possibile costruire una famiglia di evolventi tutte equidistanti tra loro.

Una evolvente è una curva aperta a spirale in cui è identificabile un ciclo corrispondente ad una rotazione completa di 360° della retta tangente; cioè la distanza TT' è uguale a $2\pi r$.

Le linee curve per l'architettura e il design

Fig. 6/ I profili coniugati in due ruote dentate.



Poiché per ogni punto esterno alla circonferenza è possibile costruire due diverse rette tangenti si possono ottenere due distinte famiglie di evolventi; una in cui il punto P si avvicina alla circonferenza secondo un andamento orario, l'altra antiorario.

Con un modellatore matematico si può visualizzare il comportamento di questa curva nel momento in cui si imprime al profilo coniugato un movimento rotatorio. Nel caso di due ruote dentate uguali (fig. 6), che hanno perciò la stessa velocità angolare, nel momento in cui si definiscono i due nuclei circolari delle ruote di raggio r occorre definire la distanza d tra i centri; $d - 2r$ è l'altezza del dente. Ogni ruota ha una circonferenza di base, riferita al nucleo, ed una circonferenza di testa che include anche il profilo del dente. Si individua anche una circonferenza primitiva data dalla tangenza tra le ruote dentate il cui raggio varia in funzione dei raggi delle due ruote dentate e dalla distanza tra i due centri⁶.

La circonferenza di testa di raggio rt avrà un certo rapporto con il raggio della circonferenza di base rb , il cui valore è sempre > 1 . Poiché la seconda ruota ha una circonferenza di base uguale, anche la seconda evolvente sarà uguale alla prima, con lo stesso verso, ma con un moto rotatorio contrario.

Date due circonferenze di base (fig. 6a), C_1C_2 è la retta congiungente i due centri cui appartiene il segmento H_1H_2 , cioè l'altezza del dente. Le evolventi delle circonferenze definiscono i due profili coniugati, che si incontrano nel punto medio M del segmento H_1H_2 . T_1T_2 è la tangente ad entrambe le circonferenze passante per il punto M . La normale alla retta T_1T_2 per costruzione è anche tangente ad entrambe le due evolventi.

Se si imprime ora graficamente una stessa rotazione (fig. 6b), antioraria al primo profilo e oraria al secondo profilo si noterà che i due profili coniugati rimangono in contatto in un punto S che appartiene sempre alla

6 Nel caso di ruote dentate uguali le due circonferenze primitive sono uguali e tangenti nel punto medio della distanza tra i due centri che è anche il punto intersezione con la tangente interna alle due circonferenze di base. Nel caso di ruote dentate a diverso raggio, e quindi con diverse velocità angolari, le circonferenze primitive sono sempre tangenti al punto intersezione tra la retta congiungente i centri e la tangente interna alle due circonferenze di base; hanno quindi raggi diversi in proporzione ai raggi delle circonferenze di base.

retta T_1T_2 con una diversa normale evidentemente parallela alla prima. Tale condizione vale per qualsiasi rotazione impressa ai due profili coniugati.

Alla retta tangente T_1T_2 appartengono pertanto tutti i punti di contatto tra le coppie coniugate di evolventi delle due circonferenze di base dell'ingranaggio.

La tangente T_1T_2 contiene il segmento S_1S_2 (fig. 6c) i cui estremi sono definiti dall'intersezione della stessa retta con le due circonferenze di testa. Questo segmento individua il campo di azione di due denti coniugati, cioè in sostanza la posizione iniziale S_1 in cui il primo profilo aggancia il secondo e la posizione finale S_2 in cui i due profili si staccano⁷.

Immaginiamo ora che l'ingranaggio che stiamo progettando sia "reciproco", che si possa cioè cambiare il senso di rotazione; questo significa che i denti avranno un profilo speculare che è un'altra evolvente (fig. 6d).

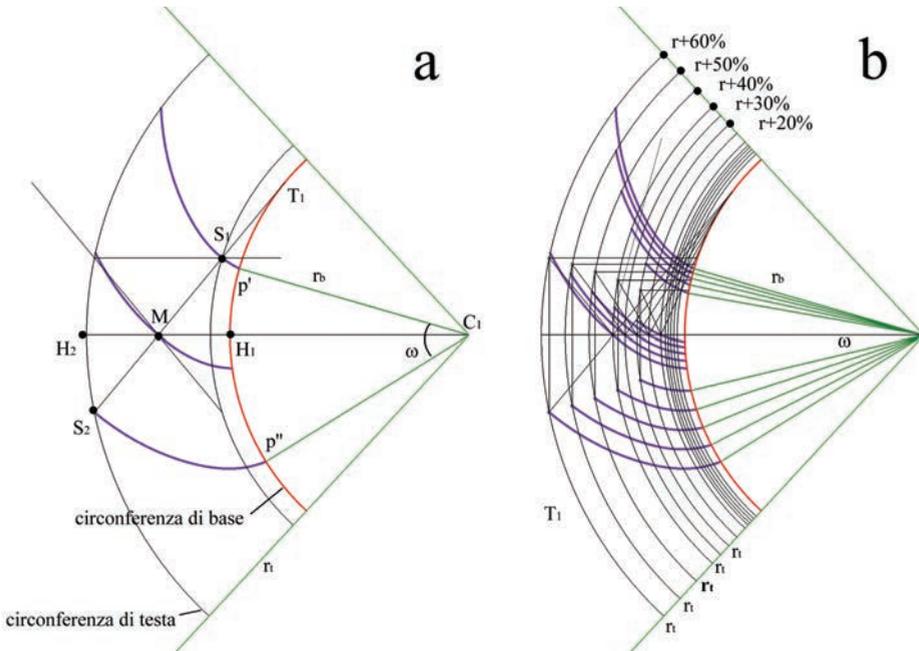
La ruota dentata è quindi formata da una serie di denti la cui geometria è definibile attraverso alcuni parametri costruttivi che sono, fondamentalmente, il numero, il passo e la dimensione dei denti. Questi vanno progettati in modo tale da garantire la continuità della rotazione ma anche la non interferenza tra i due denti coniugati.

Continuando la nostra sperimentazione, che ricordiamo è puramente geometrica e che quindi non tiene conto di valutazioni di carattere tecnico come per esempio il gioco meccanico o l'imprecisione costruttiva di alcuni raccordi, possiamo provare a calcolare qual è per esempio l'incidenza della geometria rispetto al passo, cioè la distanza tra due denti di una stessa ruota misurabile o al centro del dente o all'attacco $P'P''$ delle due evolventi successive (fig. 7a).

Il passo dell'ingranaggio è esprimibile anche come valore dell'angolo ω che sottende l'arco $P'P''$.

Sul passo dell'ingranaggio e quindi di conseguenza sul numero dei denti si possono a questo punto fare una serie di considerazioni. La prima è che il nume-

7 L'individuazione di questo segmento è fondamentale per il corretto funzionamento dell'ingranaggio in quanto i due denti successivi devono poter "ingranare" prima che i precedenti si stacchino; questa è la condizione necessaria per dare continuità al movimento.



ro deve essere intero; l'angolo relativo al passo deve essere inferiore dell'angolo ω altrimenti il movimento delle ruote non è continuo. Il passo infine deve essere tale da garantire il perfetto incastro senza sovrapposizioni tra i denti delle due ruote.

Il valore ω dell'angolo è funzione esclusivamente del rapporto tra la circonferenza esterna e la circonferenza di base. Dato un arco di circonferenza di raggio r (fig. 7b) si costruisce la porzione dell'arco di circonferenza di testa come incremento percentuale di r ; nell'esempio, per $r=10$, la circonferenza di testa è uguale a 16. Si ricorda che la differenza tra i raggi delle due circonferenze determina l'altezza del dente dell'ingranaggio H_1H_2 . Dal punto medio di H_1H_2 si traccia la tangente alla circonferenza di base che incontra la circonferenza di testa nel punto S_2 ; sfruttando la simmetria dell'ingranaggio è possibile individuare anche il punto S_1 ; si costruiscono le due evolventi della circonferenza passanti per S_1 e per S_2 ottenendo il corrispondente angolo ω .

Fig. 7/ Costruzione grafica per il calcolo dell'angolo ω in funzione del rapporto tra il raggio della circonferenza di testa e della circonferenza di base.

Le linee curve per l'architettura e il design

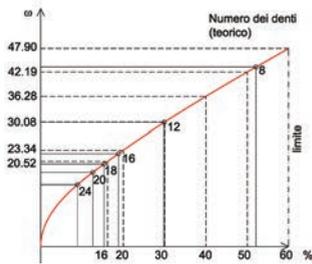


Fig. 8/ Diagramma per il calcolo teorico della circonferenza di testa in funzione al numero dei denti della ruota.

Fig. 9/ Modello di un ingranaggio con le seguenti caratteristiche: rapporto $r_t / r_b = 1.26$; angolo $\omega = 20$; numero dei denti = 18.

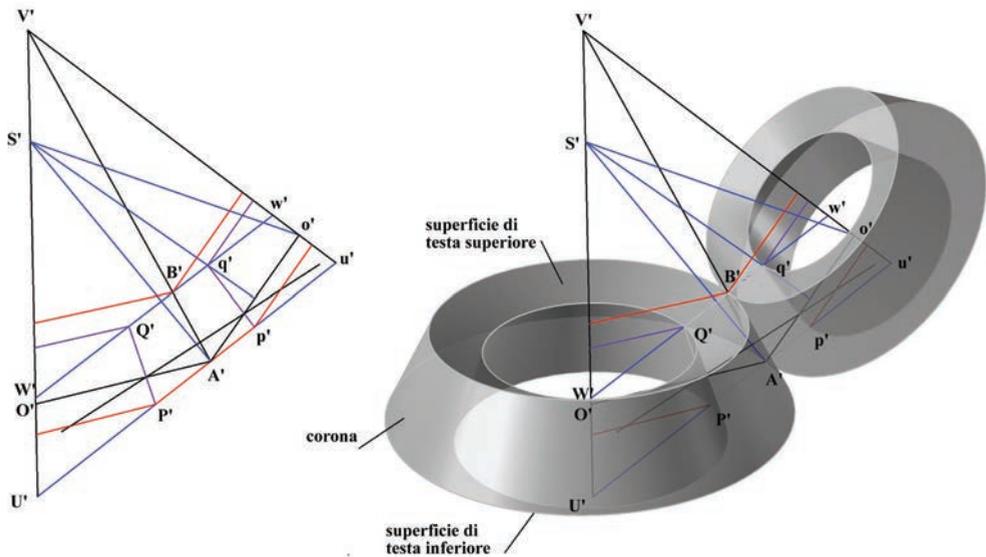


La variazione del rapporto tra il valore ω dell'angolo e il numero dei denti può essere rappresentato in un diagramma (fig. 8): sulle ascisse l'incremento percentuale del valore del raggio delle due circonferenze, sulle ordinate il valore dell'angolo ω con l'indicazione sulla curva risultante dei valori corrispondenti a numeri interi dei denti.

Una volta determinato quindi il passo dei denti, se si prova a disegnare l'intero profilo del dente (fig. 9), immaginandolo sempre nella condizione teorica minima e non costruttiva, con un'altra evolvente speculare a formare una specie di arco acuto si osserva che oltre un certo rapporto tra circonferenza esterna e di base, il dente non ha più lo spazio necessario per incastrarsi con l'altro. Per cui si può ricavare nel diagramma un limite oltre il quale il meccanismo non può funzionare⁸.

Se negli ingranaggi cilindrici, come abbiamo visto, la linea che meglio soddisfa la proprietà di mantenersi costantemente a contatto in un punto con la sua linea coniugata è la evolvente della circonferenza, nel caso degli ingranaggi conici una delle possibili soluzioni adottate nella pratica è quella di determinare l'epicicloide sferica, ottenuta dal movimento di un punto di una circonferenza che ruota, senza sci-

⁸ In tutte le altre configurazioni al di sotto di tale soglia si verifica che è possibile allargare il profilo del dente riuscendo anche a ridurre leggermente il passo in modo da avere maggiore garanzia di continuità del moto rotatorio.



volare, intorno ad un'altra circonferenza disposta su un piano diverso, mantenendo un angolo costante. La curva appartiene alla superficie di una sfera ed è una curva gobba chiamata appunto cicloide sferica. L'elaborazione del modello digitale che viene illustrata di seguito ricalca l'esempio di un ingranaggio conico del trattato di Giovanni Codazza⁹.

Si individuano prima di tutto i due assi $V'O'$ e $V'o'$ e i raggi delle primitive $O'A'$ e $o'a'$; il segmento $V'A'$, la cui proiezione in pianta è OA , è l'apotema comune ai due coni primitivi (fig. 10). Poiché i raggi delle due ruote coniche sono diversi si è nel caso di ingranaggi con diverse velocità angolari, che sono, pertanto, inversamente proporzionali alle misure dei due raggi. Le due rette ortogonali all'apotema comune passanti per A' e per B' definiscono la cosiddetta corona dell'ingranaggio e le due superfici di testa, superiore e inferiore. L'altezza $A'B'$, che è la lunghezza dei denti può essere scelta in modo arbitrario. $A'o'$, ortogonale all'asse $V'o'$, è il diametro di una circonferenza che viene assunta come base di una cono circolare retto di centro S' , appartenente all'asse $V'O'$.

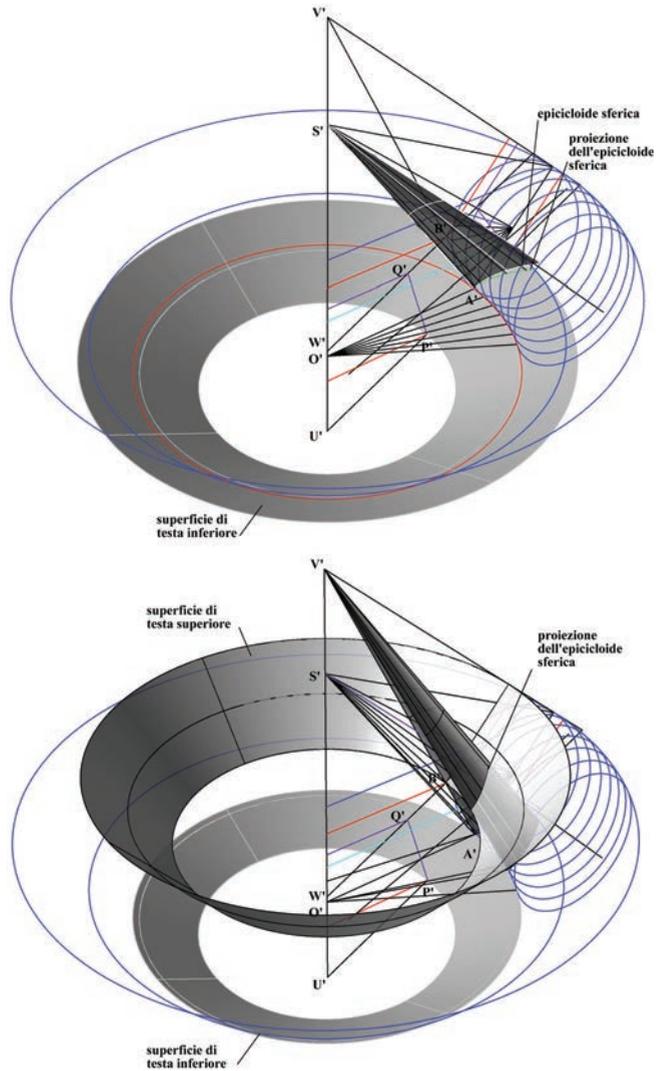
Fig. 10/ Elaborazione del modello digitale di un ingranaggio conico come descritto nel trattato di Codazza.

⁹ Codazza 1854. Nel trattato l'ingranaggio viene rappresentato al Capo Terzo, paragrafo II, in una forma grafica sintetica in doppie proiezioni ortogonali. La figura di partenza utilizzata per la costruzione del modello digitale è la stessa, anche nell'uso delle denominazioni dei punti.

Le linee curve per l'architettura e il design

Fig. 11/ Costruzione dell'epicloide sferica e sua proiezione sulla superficie conica della testa inferiore dell'ingranaggio conico. La proiezione dell'epicloide è la direttrice della superficie conica di vertice S' , superficie che determina la configurazione di uno dei denti dell'ingranaggio.

Fig. 12/ Intersezione della superficie conica del dente con la superficie conica di testa superiore.



La rotazione di questo cono intorno alle circonferenza di raggio $A'O'$ genera una epicicloide sferica (fig. 11); la rotazione dello stesso cono, all'interno della circonferenza di raggio $A'o'$ genera una ipocicloide coincidente con il raggio $A'o'$. L'intersezione dell'asse di questo cono con la superficie di testa superiore dell'ingranaggio determina l'altezza dei denti (fig. 12). Nell'esempio illustrato l'altezza dei denti è data dai segmenti $P'Q'$ e $p'q'$.

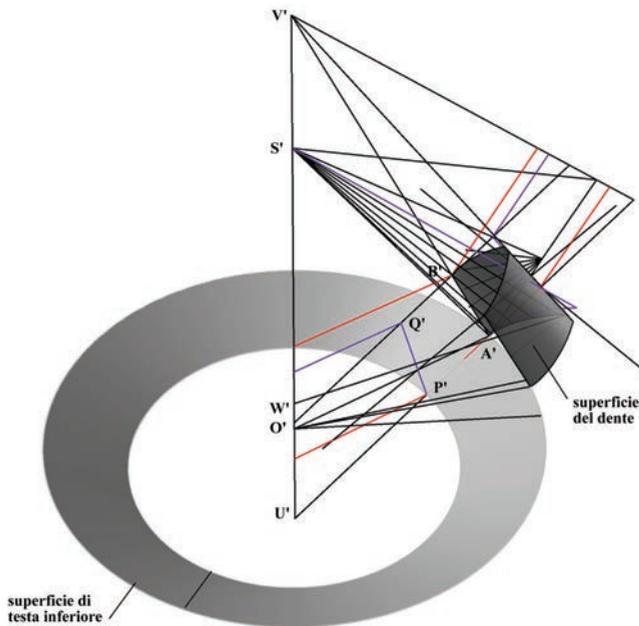


Fig. 13/ Costruzione del dente in funzione del passo dell'ingranaggio.

Per determinare le forme dei denti occorre trovare la linea intersezione del cono epicicloidale con le superfici coniche generate dalle rette $U'A'$ e WB' . Riassumendo, nella costruzione del modello digitale si è prima di tutto determinata per punti l'epicicloide sferica, ottenuta per rotazione della circonferenza B attorno alla circonferenza A . Si è poi proiettata questa linea gobba sulla superficie conica di testa inferiore dal vertice comune dei due coni primitivi. Nello specchiare questo profilo rispetto al piano passante per l'asse del cono e per la cuspide superiore della linea si è calcolato un leggero distacco in modo da introdurre uno smusso, ottenendo così la direttrice della superficie conica di un dente con vertice corrispondente al punto di concorso dei due assi dell'ingranaggio (fig. 13). Sulla base delle considerazioni geometriche suddette è stato elaborato un modello digitale di un tipico ingranaggio conico ad assi ortogonali e rapporto di velocità costante uguale a 1 (fig. 14).

Fig. 14/ Modello digitale di un ingranaggio conico ad assi ortogonali e rapporto di velocità costante uguale a 1 (render Wissam Wahbeh).



Concludendo

Questo saggio prende spunto da recenti studi svolti da chi scrive e da altri studiosi sulla teoria geometrica degli ingranaggi. Si è voluto evidenziare attraverso l'illustrazione di due esempi – l'uno riferito ad una particolare linea piana, "l'evolvente della circonferenza", e l'altro riferito ad una particolare linea gobba, "l'epicicloide sferica" – come sia possibile rendere evidenti concetti e proprietà, molto spesso declinati in forma astratta e quindi poco comprensibili.

Un grande aiuto, in questo senso, è dato dalla modellazione digitale e, più recentemente, dalle applicazioni di modellazione parametrica che utilizza procedure di *Visual Programming Language* (VPL) in cui il processo logico di costruzione degli oggetti (in questo caso ingranaggi) viene tradotto in forma algoritmica, scomponendo il problema complesso in concatenazioni di problemi semplici.

Bibliografia

Prima parte

- AA.VV., 1999. Il Colosseo Studi e Ricerche. *Disegnare Idee Immagini*, 18/19.
- Adam Jean-Pierre, 1988. *L'arte di costruire presso i Romani*. Milano: Longanesi & C.
- Arnheim Rudolph, 1977. *La dinamica della forma architettonica*. Milano: Feltrinelli.
- Baglioni Leonardo, 2007. Il contributo del modellatore informatico nello studio di lossodromie, eliche e spirali. In De Carlo Laura (a cura di). *Informatica e fondamenti scientifici della rappresentazione*. Roma: Gangemi, pp. 93-102.
- Bianchi Luigi, 1894. *Lezioni di geometria differenziale*. Pisa: Enrico Spoerri.
- Bianchi Bandinelli Ranuccio, 2005. *Roma: l'arte al centro del potere (dalle origini al II secolo d.C.)*. Milano: RCS Corriere della Sera, vol. 1.
- Boyer Carl B., 1976. *Storia della matematica*. Milano: Mondadori, 1976. Traduzione di Carugo Adriano. Ed. orig. *A History of mathematics*.
- Burali Forti Cesare, 1912. *Corso di geometria analitico-proiettiva per gli allievi della R. Accademia Militare*. Torino: G. B. Petrini di Giovanni Gallizio.
- Carlioni Roberto, 2008. La logica delle forme. In Carlevaris Laura, De Carlo Laura, Migliari Riccardo (a cura di). *Attualità della geometria descrittiva*. Roma: Gangemi, pp. 267-282.
- Carlioni Roberto, 2009. Teorie e tecniche della rappresentazione matematica. In Migliari Riccardo. *Geometria descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, pp. 5-59, vol. 2.
- Cresci Luciano, 1998. *Le curve celebri*. Padova: Franco Muzio.
- Cresci Luciano, 2005. *Le curve matematiche. Tra curiosità e divertimento*. Milano: Hoepli.
- D'Ocagne Maurice, 1896. *Cours de géométrie descriptive et de géométrie infinitésimale*. Paris: Gauthier-Villars.

Le linee curve per l'architettura e il design

- De Carlo Laura, 2009. Le linee curve. In Migliari Riccardo. *Geometria descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, pp.97-129, vol. 2.
- De Rubertis Roberto, 1999. Un enigma avvincente: il tracciato planimetrico ellittico del Colosseo. *Disegnare Idee Immagini*, 18/19, pp. 99-106.
- Docci Mario, 1999. La forma del Colosseo: dieci anni di ricerche. Il dialogo con i gromatici romani. *Disegnare Idee Immagini*, 18/19, pp. 23-32.
- Dupin Charles, 1829. *Geometria e meccanica delle arti, dei mestieri, delle belle arti*. Firenze: Stamperia di Guglielmo Piatti.
- Eulero Leonard, 1767. Recherches sur la courbure des surfaces. *Memoires de l'academie des sciences de Berlin*, 16, pp. 119-143.
- Fallavollita Federico, Salvatore Marta, 2012a. Geometria e costruzione. La teoria delle linee di curvatura nella stereotomia della pietra. *Disegnarecon*, n. 9, pp. 125-134, vol. 5.
- Fallavollita Federico, Salvatore Marta, 2012b. The ruled surfaces in stone architecture. In Gambardella Carmine (a cura di). *Le vie dei mercanti - Less More*. Napoli: La scuola di Pitagora, pp. 261-269.
- Fiedler Wilhelm, 1873. *Trattato di geometria descrittiva*. Firenze: Le Monnier.
- Freguglia Paolo, 1999. *La geometria fra tradizione e innovazione*. Torino: Bollati Boringhieri.
- Frère Gabriel Marie (Edmond Brunhes), 1893. *Élément de Géométrie Descriptive*. Tours: Alfred Mame et fils; Paris: Charles Poussielgue. Riproduzione anastatica. F.G.-M. 1996. *Géométrie descriptive, tome I, Éléments*. Mayenne: Jacques Gabay.
- Frère Gabriel Marie (Edmond Brunhes), 1920. *Exercices de Géométrie Descriptive*. Tours: Alfred Mame et fils; Paris: J. De Gigord. Riproduzione anastatica. F.G.-M. 1996. *Géométrie descriptive, tome II, Exercices*. Mayenne: Jacques Gabay.
- Gay Fabrizio, 2016. Verso una morfologia degli artefatti: da Monge a Petitot, la geometria descrittiva dopo la geometria descrittiva. In Di Luggo Antonella (a cura di). *Territori e frontiere della rappresentazione*. Roma: Gangemi, pp. 59-66.
- Giordano Andrea, 1999. *Cupole volte e altre superfici*. Torino: Utet.
- Giusti Enrico, 2007. *Piccola storia del calcolo infinitesimale dall'antichità al Novecento*. Pisa: Istituti editoriali e poligrfici internazionali.
- Hachette Jean Nicolas Pierre, 1813. *Correspondance sur l'École Royale Polytechnique, Vol. II, n. 4, 1812*. Paris: Chez J. Klostermann, Libraire de l'Ecole Impériale Polytechnique.
- Hilbert David, Cohn-Vossen Stefan, 1932. *Geometria intuitiva*. Torino: Bollati Boringhieri.
- Inglese Carlo, 2017. Dalla pratica alla trattazione teorica: le incisioni delle volute ioniche. *Disegnare Idee Immagini*, 55, pp. 42-51.
- Kline Morris, 1991. *Storia del pensiero matematico, Vol. I, Dall'antichità al Settecento*. Torino: Einaudi. Traduzione di Conte Alberto (a cura di). Ed. orig. *Mathematical Thought From Ancient to Modern Times*. Oxford: University press, 1972.
- Lambert Johannes Heinrich, 1760. *Photometria, sive mensura et gradibus luminis, coloribus et umbrae*. Augustae vindelicorum: Sumptibus viduae Eberhardi Klett, Typis Christophori Petri Detleffsen.
- Leroy Charles François Antoine, 1838. *Trattato di geometria descrittiva. Prima versione dal francese con note di Salvatore D'Ayala e Paolo Tucci*. Napoli: Reale tipografia della guerra.
- Leroy Charles François Antoine, 1862. *Traité de stéréotomie*. Paris: Mallet-Bachelier.
- Loria Gino, 1912. *Poliedri, curve e superficie*. Milano: Hoepli.

- Loria Gino, 1914. *Le scienze esatte nell'antica Grecia, Libro I -[II]*. Milano: U. Hoepli.
- Loria Gino, 1925a. *Curve sghembe speciali algebriche e trascendenti. Curve algebriche*. Bologna: Zanichelli, vol. 1.
- Loria Gino, 1925b. *Curve sghembe speciali algebriche e trascendenti. Curve sferiche - curve definite da una reazione tra flessione e torsione - curve particolari situate sopra superficie assegnate*. Bologna: Zanichelli, vol. 2.
- Loria Gino, 1930a. *Curve piane, speciali, algebriche e trascendenti. Curve algebriche*. Milano: Hoepli, vol. 1.
- Loria Gino, 1930b. *Curve piane, speciali, algebriche e trascendenti. Curve trascendenti - Curve dedotte da altre*. Milano: Hoepli, vol. 2.
- Loria Gino, 1931. *Il passato e il presente delle principali teorie geometriche*. Padova: Cedam.
- Loria Gino, 1935. *Metodi matematici*. Milano: Hoepli.
- Losito Maria, 1993. La ricostruzione della voluta ionica vitruviana nei trattati del rinascimento. *Mélanges de l'école française de Rome*, 105-1, pp. 133-175.
- Martines Gianciacomo, 1983. La struttura della Colonna Traiana: un'esercitazione di meccanica alessandrina. *Prospettiva*, 32, pp. 60-71.
- Migliari Riccardo, 1999. Principi teorici e prime acquisizioni nel rilievo del Colosseo. *Disegnare Idee Immagini*, 18/19, pp. 33-50.
- Migliari Riccardo, 2009a. *Geometria Descrittiva. Metodi e costruzioni*. Novara: CittàStudi, vol. 1.
- Migliari Riccardo, 2009b. *Geometria Descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, vol. 2.
- Monge Gaspard, 1796. *Analyse appliquée à la géométrie. Journal de l'École polytechnique, chaier II*.
- Monge Gaspard, 1798. *Géométrie descriptive*. Paris: Baudouin.
- Palladio Andrea, 1570. *I quattro libri dell'architettura*. Venezia, appresso Dominico de' Franceschi. Ristampa. Milano: Hoepli, 1945.
- Paris Leonardo, 2008. Conseguenze informatiche nella rappresentazione. Disegno e modello del capitello ionico. *Disegnare Idee Immagini*, 36, pp. 82-92.
- Paris Leonardo, 2012. Teoria geometrica degli ingranaggi. In Casale Andrea (a cura di). *Geometria descrittiva e rappresentazione digitale. Memoria e innovazione*. Roma: Kappa, pp. 63-84, vol. 2.
- Peano Giuseppe, 1887. *Applicazioni geometriche del calcolo infinitesimale*. Torino: Bocca.
- Pintore Angela, Salvatore Marta, 2007. Shape from points. Morfogenesi e modellazione matematica. In De Carlo Laura (a cura di). *Informatica e fondamenti scientifici della rappresentazione*. Roma: Gangemi, pp. 161-174.
- Rogers David F., 2000. *An Introduction to NURBS: With Historical Perspective*. Burlington: Morgan Kaufmann - Elsevier.
- Russo Lucio, 1996. *La rivoluzione dimentica*. Milano: Feltrinelli.
- Sala Nicoletta, Sala Massimo, 2013. *Geometrie del design. Forme e materiali per il progetto*. Milano: FrancoAngeli.
- Salvatore Marta, 2009a. Intersezioni piane tra superfici quadriche. In Migliari Riccardo. *Geometria descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, pp. 280-295, vol. 2.
- Salvatore Marta, 2009b. La stereotomia. In Migliari Riccardo. *Geometria descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, pp. 485-561, vol.2.

Le linee curve per l'architettura e il design

- Salvatore Marta, 2011. Modelli litici di scale elicoidali. In Gambardella Carmine (a cura di). *Le vie dei Mercanti, S.A.V.E. Heritage*. Napoli: La scuola di Pitagora, pp. 1-12.
- Salvatore Marta, 2012. *La stereotomia scientifica in Amedée François Frézier. Prodromi della geometria descrittiva nella scienza del taglio delle pietre*. Firenze: University Press.
- Sereni Carlo, 1826. *Trattato di geometria descrittiva*. Roma: Stamperia di Filippo e Nicola De Romanis.
- Sereni Carlo, 1845. *Geometria descrittiva*. Roma: Tipografia Salviucci.
- Townsend Alastair, 2014. On the Spline: A Brief History of the Computational Curve. *International Journal of Interior Architecture + Spatial Design: Applied Geometries*, pp. 48-59, vol. 3.
- Valenti Graziano Mario, 2008. *De.form.are – De.form.ing*. Roma: Rdesignpress.
- Villa Mario, 1960. Sulla definizione della torsione di una curva sghemba. *Bollettino dell'Unione Matematica Italiana*, Serie 3, 1, pp. 47-54, vol. 15.
- Vitruvio Pollione Marco, *De Architectura*, 27 a.C. Interpretazione di Florian Giovanni. *Dell'architettura*. Pisa: Giardini.

Seconda parte

- Angelini Beatrice, 1999. Metodologia per lo studio del rilievo e della rappresentazione delle superfici rototraslate. La coclide di Bramante al Belvedere Vaticano. In AA.VV. *Geometria e Architettura, Strumenti del Dottorato di Ricerca in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente*. Roma: Gangemi, pp. 63-85, vol. 1.
- Argan Giulio Carlo (a cura di), 1952. *Borromini*. Milano: Mondadori.
- Arruga Lorenzo, Cella Franca (a cura di), 2006. *Pier Luigi Pizzi Inventore di teatro*. Torino: Umberto Allemandi & C.
- Barde F.A., 1834. *Traité Encyclopédique de l'Art du Tailleur*. Paris: Hippolyte Tiliard, 1834.
- Bellini Federico, 2004. *Le cupole di Borromini*. Milano: Electa.
- Bézier Pierre Etienne, 1971. Example of an Existing System in the Motor Industry: The Unisurf System. *Proceedings of the Royal Society of London*. 1545, vol. 321, pp. 207-218.
- Blunt Anthony, 1983. *Vita e opere di Borromini*. Roma: Laterza.
- Bösel Richard, Frommel Christoph Luitpold (a cura di), 2000. *Borromini e l'universo barocco*. Milano: Electa.
- Boullay Benoit, 1671. *Le Tailleur Sincère, contenant ce qu'il faut observer pour bien tracer, couper & assembler toutes les principales pieces qui se font dans la profession de Tailleur*. Paris: Antoine de Rafflé.
- Brandi Cesare, 1974. *Struttura e architettura*. Torino: Einaudi, 1974. Ed. orig. Torino: Einaudi.
- Brevi Fausto, 2004. *Il design delle superfici. I modelli digitali per il disegno industriale*. Milano: PoliDesign.
- Bruschi Arnaldo, 1978. *Borromini, manierismo spaziale oltre il barocco*. Bari: Dedalo libri.
- Cambridge Nicolas Adam, 2013. Homo (wo)mensura: unpicking the flat pattern-cutting regimes of sartorial culture. *International Journal of Fashion Design. Technology and Education*, 2, pp. 121-129, vol. 6.

- Canciani Marco, 2016. Drawing, Geometry and Construction: The Dome of San Carlino Alle Quattro Fontane (1634-1675) by Francesco Borromini. In Amoroso Giuseppe (a cura di). *Visual Computing and Emerging Geometrical Design Tools*. Hershey PA: IGI Global, pp. 608-641, vol. 2.
- Caraceni Domenico, 1933. *Orientamenti nuovi nella tecnica e nell'arte del sarto*. Roma: D. Squarci e Figli.
- Carlevaris Laura, De Carlo Laura, Migliari Riccardo (a cura di), 2012. *Attualità della Geometria descrittiva*. Roma: Gangemi.
- Carlucci Simona, Soresi Giovanni, Ursini Ursic Giorgio (a cura di), 1984. *Josef Svoboda*. Milano: Studio i.
- Casson Lionel, 2004. *Navi e marinai dell'antichità*. Milano: Mursia Editore.
- Ceccarelli Marco, Cigola Michela, 2009. Descriptive Geometry and the Theory of Mechanisms in XIX century Italian Engineering: similarities and interrelationships. *Disegnare Idee Immagini*, 39, pp. 12-25.
- Ceccato Cristiano, Lars Hesselgren, Mark Pauly, Helmutt Pottmann, Johannes Wallner, 2010. *Advances in Architectural Geometry 2010*. Wien: Springer-Verlag.
- Cho Youngsook, Park Hyejun, Takatera Masayuki, Kamijo Masayoshi, Hosoya Satoshi, Shimizu Yoshio, 2003. Pattern Remaking System of Dress Shirt Using 3D Shape Measurement. *Journal of the Asian Design International Conference*, 1, pp. 1-8.
- Ciammaichella Massimiliano, 2007. *La pelle dell'architettura contemporanea*. Roma: Aracne.
- Ciammaichella Massimiliano, 2011. *Disegno digitale per la moda. Dal figurino all'avatar*. Roma: Aracne.
- Ciammaichella Massimiliano, 2013. Processi di sviluppo delle superfici. Architettura e moda a confronto. In Casale Andrea (a cura di). *Geometria Descrittiva e Rappresentazione Digitale. Memoria e innovazione*. Roma: Kappa, pp. 187-195, vol. 2.
- Carlioni Roberto, 2009. Le teorie e le tecniche della rappresentazione matematica. In Migliari Riccardo. *Geometria Descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, pp. 5-59, vol.2.
- Cigola Michela, Ceccarelli Marco, 2016. Machine Designs and Drawings in Renaissance Editions of de Architectura by Marcus Vitruvius Pollio. In Sorge Francesco, Genghi Giuseppe (a cura di). *Essays on the History of Mechanical Engineering. History of Mechanism and Machine Science*. Cham: Springer, pp. 1-5, vol. 31.
- Codazza Giovanni, 1854. *Teoria geometrica degli ingranaggi*. Milano: Giuseppe Bernardoni.
- Codeluppi Vanni, 2003. *Che cos'è la moda*. Roma: Carocci.
- Connors Joseph (a cura di), 1998. *Francesco Borromini. Opus architectonicum*. Milano: Il Polifilo.
- Curtis William J., 2016. *L'architettura moderna dal 1900*. London: Phaidon.
- D'amato Gabriella, 2001. *L'arte di arredare. La storia di un millennio attraverso gusti, ambienti, atmosfere*. Milano: Mondadori.
- De Alcega Juan, 1580. *Libro de Geometría, Prática, Y Traça, el cual trata de lo tocante al officio de sastrre, para saber pedir el paño, seda, o otra tela que sera menester para mucho genero de vestidos, ansi de hombres, como de mujeres, y para saber como se an de cortar los tales vestidos, con otros secretos; y curiosidades tocantes a este arte...* Madrid: Guillermo Drouy.
- De Boor Carl R., 1978. *A practical guide to splines*. New York: Springer-Verlag.

Le linee curve per l'architettura e il design

- De Carlo Laura, Baglioni Leonardo, 2009. Le linee curve. In Migliari Riccardo. *Geometria descrittiva*. Novara: CittàStudi, pp.97-143, vol. 2.
- De Casteljou Paul, 1959. *Courbes à pôles*. INPI.
- De Fusco Renato, 2003. *Storia del design*. Bari: Laterza.
- De Gersault Françoise Alexandre Pierre, 1769. *Art du Tailleur, contenant Le Tailleur d'habits d'hommes; les Culottes de Peau; le Tailleur de Corps de Femmes & Enfants: la Couturiere; & la Marchande de Modes*. Paris: M. de Gersault.
- De La Rocha Burguen Francisco, 1618. *Geometria, y traça perteneciente al oficio de sastres. Donde se contiene el modo y orden de cortar todo genero de vestidos Españoles, y algunos Franceses, y Turcos...* Valencia: Pedro Patricio Mey.
- De Luca Mauro, Sorella Pietra Fratello Ferro, 2017. *Un percorso nella cultura tecnologica del progetto*. Firenze: AltraLinea.
- De Vizè Donneau, 1982. *Mercurie Galant. 1672-1674*. Genève-Paris: Slatkine.
- Debo Kaat (a cura di), 2003. *Patronen/Patterns, MoMu Mode Museum, catalogo della mostra, 24 aprile-10 agosto 2003*. Ghent: Ludion.
- Deleuze Gilles, 2004. *La piega, Leibniz e il Barocco*. Milano: Einaudi.
- Ferrara Marinella, 2004. *Materiali e innovazioni nel design: meccanismi di innovazione*. Roma: Gangemi.
- Focillon Henri, 1987. *Vita delle forme*. Torino: Einaudi. Traduzione di Bettini Sergio.
- Frampton Kenneth, 2008. *Storia dell'architettura moderna*. Bologna: Zanichelli.
- Gaiani Marco (a cura di), 2006. *La rappresentazione riconfigurata. Un viaggio lungo il processo di produzione del progetto di disegno industriale*. Milano: PoliDesign.
- Gaiani Marco, Guidi Gabriele, Micoli Laura, Musio Sale Massimo, Russo Michele, 2006. Reverse modeling per la nautica: rilievo dello scafo di un gommone con sistemi di scansione 3D a basso costo. *Disegnare Idee Immagini*, 31, 82-93.
- Gill Alison, 1998. Fashion: The Making of Unfinished, Decomposing and Re-Assembled Clothes. *Fashion Theory*, 1, pp. 25-50, vol. 2.
- Guidi Gabriele, Micoli Laura Loredana, Russo Michele, 2005. Boat's hull modeling with low cost triangulation scanners. *Proceedings of the Videometrics VIII, part of the IS&T/SPIE Symposium Electronic Imaging*, pp. 28-39, Vol. 5665.
- Guidi Gabriele, Russo Michele, Beraldin Jean-Angelo, 2010. *Acquisizione e modellazione poligonale*. Milano: McGraw Hill.
- Hempel Eberhard, 1924. *Francesco Borromini*. Wien: A. Schroll & Co., 1924. Edizione italiana. Milano: Società editrice d'arte illustrata.
- Hodge Brooke, 2007. *Skin + Bones. Parallel Practices in Fashion and Architecture*. London: Thames & Hudson.
- Laplaiche Virginie, 2002. *Geneviève Sevin-Doering: costumes*. Paris: Ecole du Louvre.
- Leroy Charles Françoise Antoine, 1872. *Traité de géométrie descriptive; suivi de la méthode des plans cotes et de la théorie des engrenages cylindriques et coniques: avec une collection d'épures composee de 69 planches*. Parigi: Bachelier.
- Liming Roy A., 1944. *Practical Analytic Geometry with Applications to Aircraft*. USA: The Macmillan Company.
- Lindqvist Rickard, 2013. On The Logic of Pattern Cutting. Foundational Cuts and Approximations of the Body. *Artistic Research*, 3.

- Liu Yong-Jin, Zhang Dong-Liang, Yuen Matthew, 2010. A survey on CAD methods in 3D garment design. *Computer in Industry*, 61, pp. 576-593.
- Loria Gino, 1921. *Storia della Geometria Descrittiva dalle origini sino ai giorni nostri*. Milano: Hoepli.
- Lupano Mario, Vaccari Alessandra (a cura di), 2009. *Una giornata moderna. Moda e stili nell'Italia fascista*. Bologna: Damiani.
- Marzari Mario (a cura di), 1998. *Navi di legno. Evoluzioni tecnica e sviluppo della cantieristica nel Mediterraneo dal XVI secolo ad oggi*. Trieste: LINT.
- Masini Lara Vinca, 2009. *Liberty. Art Nouveau*. Milano: Giunti.
- Massobrio Giovanna, Portoghesi Paolo, 1976. *La seggiola di Vienna: storia dei mobili in legno curvato*. Torino: Martano.
- Massobrio Giovanna, Portoghesi Paolo, 1992. *Casa Thonet. Storia dei mobili in legno curvato*. Bari: Laterza.
- Mello Bruno, 1987. *Trattato di scenotecnica*. Novara: Gorlich.
- Migliari Riccardo, 2009a. *Geometria Descrittiva. Metodi e costruzioni*. Novara: CittàStudi, vol. 1.
- Migliari Riccardo, 2009b. *Geometria Descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, vol. 2.
- Miyake Issey, Kitamura Midori, 2012. *Pleats Please*. Koln: Taschen.
- Morini Enrica, 2006. *Storia della moda. XVIII-XX secolo*. Milano: Skira.
- Musio Sale Massimo (a cura di), 2009. *Yacht Design: dal concept alla rappresentazione*. Milano: Tecniche Nuove.
- Nakamichi Tomoko, 2012. *Pattern Magic, 3 voll.* London: Laurence King.
- Oestergard Derek E., 1987. *Bentwood and metal furniture: 1850-1946*. Washington: University of Washington Press.
- Olivier Théodore, 1844. *Théorie géométrique des engrenages*. Paris: Bachelier.
- Paris Ivan, 2006. *Oggetti cuciti. L'abbigliamento pronto in Italia dal primo dopoguerra agli anni Settanta*. Milano: FrancoAngeli.
- Paris Leonardo, 2012a. Geometrie coniugate. *Disegnarecon*, 9, pp. 235-244, vol. 5.
- Paris Leonardo, 2012b. Teoria geometrica degli ingranaggi. In Casale Andrea (a cura di). *Geometria descrittiva e rappresentazione digitale. Memoria e innovazione*. Roma: Kappa, pp. 63-84, vol. 2.
- Paris Leonardo, 2015. Shape and Geometry in the Integrated Digital Survey. In Brusaporci Steafano (a cura di). *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*. London: ICI Global, pp. 214-238.
- Paris Leonardo, 2016. La scala elicoidale a Caprarola di Jacopo Barozzi da Vignola. Innovazione formale tra teoria e prassi. In Bini Marco, Berocci Stefano (a cura di). *Le ragioni del Disegno*. Roma: Gangemi, pp. 523-530.
- Paris Leonardo, Ricci Maurizio, 2014. Osservazioni su un disegno prospettico attribuito a Ottaviano Mascarino. *Disegnare Idee Immagini*, 48, pp. 22-33.
- Paris Leonardo, Ricci Maurizio, Roca De Amicis Augusto, 2016. *Con più difficoltà. La scala ovale di Ottaviano Mascarino nel palazzo del Quirinale*. Roma: Campisano editore.
- Paris Leonardo, Valenti Graziano Mario, 2015. La scala elicoidale del Borromini a Palazzo Barberini: rilievo scan laser modellazione parametrica. *Disegnarecon*, 15, pp. 11.1-11.11., vol. 8.

Le linee curve per l'architettura e il design

- Piegl Les., Tiller Wayne, 1995. *The NURBS Book*. Switzerland AG: Springer-Verlag.
- Portoghesi Paolo, 1964. Thonet e la produzione di serie. *La botte e il violino*, 1.
- Portoghesi Paolo, 1984. *Francesco Borromini*. Milano: Electa.
- Portoghesi Paolo, 2014. La biblioteca di Francesco Borromini. In Cazzato Vincenzo, Roberto Sebastiano, Bevilacqua Mario (a cura di). *La Festa delle Arti*. Roma: Gangemi, pp. 358-365.
- Portoghesi Paolo, 2015. Concordia Discors: L'architettura barocca a Roma. In Fagiolo Marcello (a cura di). *Roma Barocca. I protagonisti, gli spazi urbani, i grandi temi*. Roma: De Luca Editori d'Arte, pp. 25-59.
- Pottmann Helmut, Asperl Andreas, Hofer Michael, Kilian Axel, 2007. *Architectural Geometry*. Exton: Bentley Institute Press.
- Pottmann Helmut, Schiftner Alexander, Bo Pengbo, Schmiedhofer Heinz, Wang Wenping, Baldassini Niccolo, Wallner Johannes, 2008a. Freeform surfaces from single curved panels. *ACM Transactions on Graphics - Proceedings of ACM SIGGRAPH*, 3, article n. 76, vol. 27.
- Pottmann Helmut, Schiftner Alexander, Wallner Johannes, 2008b. Geometry of Architectural Freeform Structures. *ACM Symposium on Solid and Physical Modeling*, 209, pp. 15-28.
- Prokopios Kantas, 2015. *Teoria geometrica degli ingranaggi. Tesi di dottorato XXVIII ciclo in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo*. Roma.
- Quilici Vieri, 1991. *Il Costruttivismo*. Bari: Laterza.
- Raspe Martin, 2000. Borromini e la cultura antiquaria. In Bösel Richard, Frommel Christoph Luitpold (a cura di). *Borromini e l'universo barocco*. Milano: Electa, pp.83-93, vol. 1.
- Remondino Fabio, El-Hakim S.F., 2006. Image-Based 3D Modeling: A review. *The Photogrammetric Record Journal*, 115, pp. 269-291, vol. 21.
- Ricci Maurizio (a cura di), 2016. *Mascariniana. Studi e ricerche sulla vita e le opere di Ottaviano Mascarino*. Roma: Campisano.
- Rogers David F., 2000. *An Introduction to NURBS: With Historical Perspective*. Burlington: Morgan Kaufmann - Elsevier.
- Sala Nicoletta, Sala Massimo, 2013. *Geometrie del design. Forme e materiali per il progetto*. Milano: FrancoAngeli.
- Sato Shingo, 2016. *Transformational Reconstruction, 3 voll.* Saint Helena: Antiquity Press.
- Schumacher Patrik, 2013. Parametric Semiology: the design of information-rich environments. In Eiroa Pablo Lorenzo, Sprecher Aaron (a cura di). *Architecture In Formation. On the nature of information in digital architecture*. Abingdon: Routledge, pp. 53-59.
- Sederberg Thomas W., 2012. *Computer aided geometric design*. Provo: BYU.
- Sederberg Thomas W., Zheng Jianmin, Bakenov Almaz, Nasri Ahmad, 2003. T-splines and T-NURCCS. *ACM Transactions on Graphics*, 22 (3), pp. 477-484.
- Sedlmayr Hans, 1996. *L'architettura di Borromini*. Milano: Electa.
- Sembach Klaus Jorgen, 2016. *Art Nouveau*. Koln: Taschen.
- Serafini Giuliano, 2003. *Le arti decorative alle origini del moderno*. Milano: Giunti.
- Settimi Bruno, 1970. *Enciclopedia. La Moda maschile per il sarto, il modellista industriale ed il tecnico della confezione in serie, XX ed.* Milano: La Moda Maschile.
- Spadafora Giovanna, 2015. Nelle pieghe del dettaglio. Riflessioni sulla forma nell'opera di Francesco Borromini. *L'architettura delle città - The Journal of the Scientific Society Ludovico Quaroni*, 7, pp. 11-24, vol. 4.
- Spadafora Giovanna, 2016. Geometry and drama in Borromini's architectural details. Moldings

- in Palazzo Falconieri. In Amoruso Giuseppe (a cura di). *Visual Computing and Emerging Geometrical Design Tools*. Hershey PA: IGI Global, pp. 666-693, vol. 2.
- Spanabel Emery Joy, 2015. *A History of the paper pattern industry. The home dressmaking fashion revolution*. London-New York: Bloomsbury.
- Strada Nanni, 2013. *Lezioni. Moda-Design e Cultura del Progetto*. Milano: Lupetti.
- Svoboda Josef, 1997. *I segreti dello Spazio Teatrale*. Milano: Ubulibri.
- Tessari Domenico, 1902. *La costruzione degli ingranaggi: ad uso delle scuole degli ingegneri e dei meccanici*. Torino: Fratelli Bocca.
- Townsend Alastair, 2014. On the Spline: A Brief History of the Computational Curve. *International Journal of Interior Architecture + Spatial Design: Applied Geometries*, pp. 48-59, vol. 3.
- Ursini Ursic Giorgio (a cura di), 2001. *Ezio Frigerio*. S.l.!
- Valenti Graziano Mario, 2008. *De.form.are – De.form.ing*. Roma: Rdesignpress.
- Villani Marcello, 2008. *La più nobile parte. L'architettura delle cupole a Roma 1580-1670*. Roma: Gangemi.
- Volino Pascal, Magnenat-Thalmann Nadia, 2000. *Virtual Clothing. Theory and Practice*. Berlin: Springer.
- Watkin David, 2010. *Storia dell'architettura occidentale*. Bologna: Zanichelli.
- Zammerini Massimo, 2012. *Cambio di scena. La scenografia teatrale tra realismo e astrazione*. Roma: Kappa.
- Zammerini Massimo, 2017a. Architettura e scenografia nella Roma del Settecento. In Alfonsetti Beatrice (a cura di). *Settecento romano. Reti del classicismo arcadico*. Roma: Viella, pp. 221-232.
- Zammerini Massimo, 2017b. Luce e cromatura. L'introduzione dell'acciaio cromato nell'architettura e nel design del Modernismo. In Veronica Marchiafava, Francesca Valan (a cura di). *Colore e Colorimetria. Contributi Multidisciplinari, vol. XIII A*. Milano: Associazione Italiana Colore, pp. 158-166.
- Zanchettin Vitale, 1997. Il tiburio di Sant'Andrea alle Fratte: propositi e condizionamenti nel testo borrominiano. *Annali di Architettura*, 9, pp. 112-135.
- Zanchettin Vitale, 2000. Il disegno Albertina, AZ.Rom 106 per Sant'Andrea delle Fratte: modello antico e problemi contingenti nella progettazione del tiburio. In Frommel Christoph Luitpold, Sladek Elisabeth (a cura di). *Francesco Borromini, Atti del convegno internazionale, 13-15 gennaio 2000*. Milano: Electa, pp. 166-170.

Gli autori

Massimiliano Ciammaichella

Architetto, professore associato in Disegno, è stato direttore del corso di laurea magistrale in Scienze e Tecniche del Teatro presso l'Università Iuav di Venezia (2016/2018), dove tiene i corsi di *Disegno, animazione e scena digitale* e *Laboratorio di Disegno e modellistica*.

Laura De Carlo

Architetto, già professore ordinario di Disegno della Sapienza Università di Roma. Ha rivolto i suoi prevalenti interessi ai fondamenti scientifici e alla storia della rappresentazione nonché alle nuove strumentazioni per l'analisi e la comunicazione della forma in architettura.

Matteo Flavio Mancini

Architetto, PhD in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo presso la Sapienza Università di Roma, si occupa di geometria descrittiva e modellazione digitale. Dal 2015 svolge attività didattica e di ricerca presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre.

Leonardo Paris

Architetto, professore associato in Disegno della Sapienza di Roma, insegna *Geometria Descrittiva* e *Rilievo* ad Ingegneria e ad Architettura. La sua attività di ricerca è incentrata sullo studio della forma e della geometria nell'architettura, nell'ingegneria e nel design. Si occupa da anni di rilievo digitale e modellazione.

Le linee curve per l'architettura e il design

Maria Laura Rossi

Ingegnere edile-architetto, PhD in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, docente a contratto della Sapienza Università di Roma, sede di Rieti, facoltà di Ingegneria. Svolge attività di ricerca nell'ambito del rilievo digitale integrato e della modellazione digitale parametrica HBIM.

Michele Russo

Architetto, PhD, ricercatore senior in Disegno presso il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura della Sapienza Università di Roma, da quindici anni si occupa di rilievo e modellazione tridimensionale nell'ambito dei Beni Culturali e del Design.

Marta Salvatore

Architetto, PhD, ricercatore presso il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura della Sapienza Università di Roma. Indirizza la propria attività di ricerca alla geometria descrittiva, al suo sviluppo storico e alle sue più recenti applicazioni attraverso i metodi digitali della rappresentazione.

Giovanna Spadafora

Architetto, professore associato in Disegno della Facoltà di Architettura dell'Università Roma Tre, dove insegna *Fondamenti e Applicazioni di Geometria Descrittiva e Rilievo*. Si occupa da molti anni di rilevamento e di rappresentazione architettonica e archeologica.

Massimo Zammerini

Architetto, professore associato in Composizione Architettonica alla Sapienza Università di Roma, insegna *Laboratorio di Progettazione III e Scenografia*. Dirige il Master in *Scenografia Teatrale e Televisiva*, svolge attività di sperimentazione progettuale nel campo dell'architettura e dell'interior design.

Forme del disegno
diretta da E. Ippoliti, M. Rossi, E. Dotto

Ultimi volumi pubblicati:

ANDREA CASALE, *Forme della percezione*. Dal pensiero all'immagine (disponibile anche in e-book).

Il volume raccoglie studi che indagano sul ruolo delle linee quale matrice formale dell'architettura e del design. Considerando la geometria al centro sia del processo creativo della progettazione che della concretizzazione della forma nella costruzione vera e propria, lo studio della geometria solida delinea un settore di ricerca attualmente emergente al confine tra geometria applicata e architettura, specie in un momento in cui l'analisi e la produzione si manifestano attraverso forme sempre più complesse. La geometria costruttiva contemporanea trova nella *architectural geometry* un grande potenziale che dimostra come le conoscenze geometriche possano essere alla base di un uso creativo del digitale. Le linee curve sono le figure geometriche che più frequentemente si incontrano nella teoria e nella pratica e lo studio delle teorie ad esse associate risulta indispensabile dal momento che la soluzione di ogni problema di costruzione della forma ha come momento iniziatico il tracciamento di una o più linee e la ricerca degli elementi ad esse comuni. Lo studio delle proprietà e della delimitazione di queste figure geometriche risulta fondamentale in tutto lo sviluppo storico della geometria a partire dall'antichità fino alle più recenti elaborazioni digitali come la costruzione di modelli tridimensionali virtuali di rappresentazione che permettono di rivisitare le teorie classiche nella loro evoluzione storica esplicitando, attraverso idonee visualizzazioni, moltissime proprietà geometriche molto spesso relegate nell'alveo dell'analisi matematica e delle sue espressioni più astratte. Nella prima parte del volume si è voluto delineare un quadro generale sulle origini delle teorie matematiche alla base della conoscenza delle proprietà di questi enti geometrici e sulla loro ricaduta nella progettazione della forma, sia in chiave storica che analizzando i più recenti strumenti digitali oggi a disposizione. La seconda parte raccoglie alcuni saggi attraverso i quali emerge l'ampio spettro di possibili applicazioni sull'uso della linea curva nel processo progettuale: dall'architettura al design; dalla nautica al mondo della moda; dalle teorie geometriche degli ingranaggi alle freeform dell'architettura contemporanea.

Laura De Carlo, già professore ordinario di Disegno della Sapienza Università di Roma, dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, insegna Geometria descrittiva ad Architettura ed è autore di numerose pubblicazioni e articoli su riviste specializzate incentrate sui fondamenti scientifici e sulla storia della rappresentazione nonché sulle nuove strumentazioni per l'analisi e la comunicazione della forma in architettura.

Leonardo Paris, professore di Disegno della Sapienza Università di Roma, dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, insegna ad Architettura e Ingegneria Civile e Industriale ed è autore di numerosi saggi pubblicati in volumi e riviste di settore. Si occupa di geometria descrittiva e modellazione 3D. È responsabile scientifico di numerosi rilievi eseguiti con innovative tecniche di acquisizione digitale.