

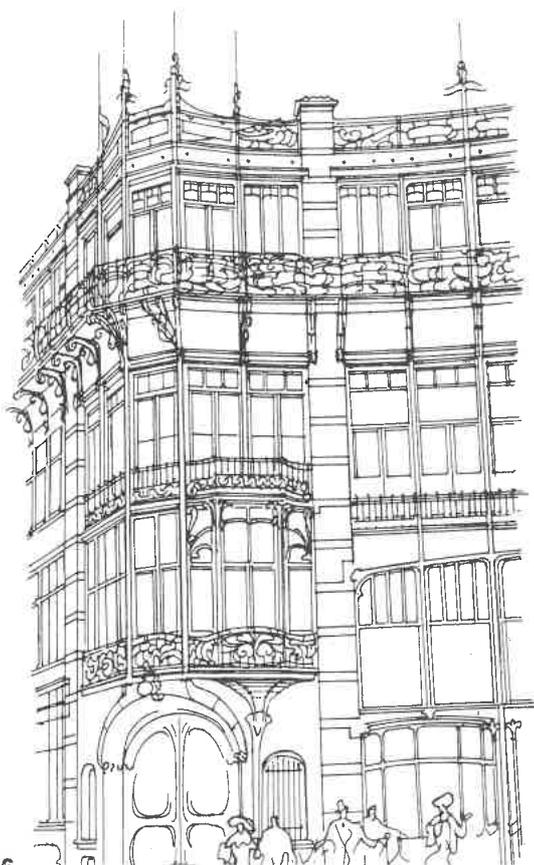
Progettare il curvo

La progettazione e costruzione di architetture e componenti curvilinee: peculiarità, problematiche realizzative, esempi, un po' di storia.

Massimiliano Nistri

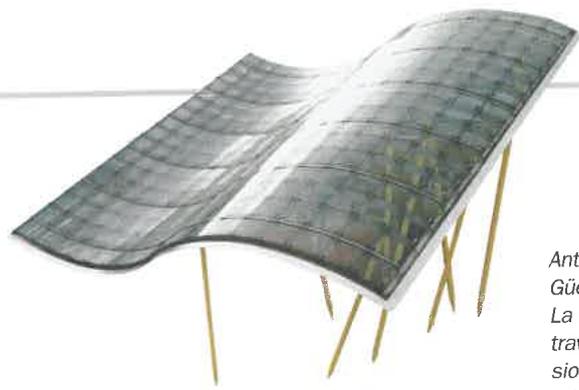
LSA 2 - Politecnico di Milano
Facoltà di Architettura

La retta, il piano, hanno caratterizzato "geometricamente" la grande maggioranza delle architetture, dagli inizi a oggi, anche per la maggior semplicità costruttiva che essi realizzano. La forma curva richiesta da concezioni costruttive quali l'arco oppure generate da autentiche rivoluzioni del pensiero architettonico (pensiamo al Barocco o alle volte sottili

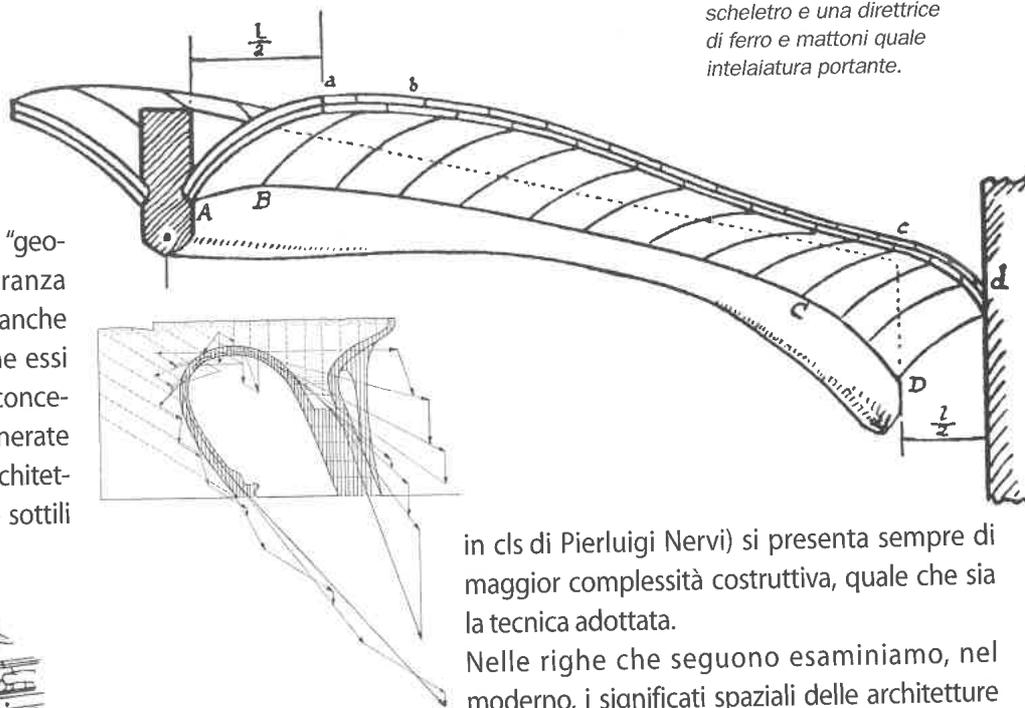


Victor Horta, *Maison du Peuple*, Bruxelles (1899).

Si rileva l'espressione sinuosa definita dalla facciata concava composta da linee costruttive tese e funzionali, eseguite mediante la struttura di acciaio in vista a intelaiare ampie lastre vetrate.



Antoni Gaudí, *Parco Güell*, Barcellona (1914). La composizione delle travi di resistenza flessionale uniforme si costituisce con l'innesto di due doppie voltine di mattoni in foglio (*bòvedas tabicadas*), dove la malta è stesa secondo superfici convesse e unita come una struttura in tensione che determina l'unità plastica delle sagome sinuose. La struttura contrafforte voltata, a sostegno del piano sopraelevato del parco, maschera uno scheletro e una direttrice di ferro e mattoni quale intelaiatura portante.



in cls di Pierluigi Nervi) si presenta sempre di maggior complessità costruttiva, quale che sia la tecnica adottata.

Nelle righe che seguono esaminiamo, nel moderno, i significati spaziali delle architetture "in curvo" e passiamo in rassegna, brevemente, le tecniche costruttive per realizzare forme non lineari.

Chi per primo ha ragionato su questi orientamenti progettuali e costruttivi, nel moderno, è stato Gillo Dorfles nel saggio *Barocco nell'architettura moderna* (Tamburini, Milano, 1951), dove si fa riferimento a una nuova concezione plastico-spaziale dell'architettura moderna, rilevandone una derivazione, non solo formale (allontanando il fraintendimento di considerare tale tutto ciò che è curvo, non rettilineo, non simmetrico o disarticolato), dall'età barocca: nello specifico, Dorfles considera parte dell'architettura moderna come il risultato di un'espressione "neobarocca", "perché i moduli, i pattern, barocchi, inserendosi nel nostro nuovo pensiero scientifico, nei nostri nuovi materiali

Alvar Aalto, padiglione finlandese all'Esposizione universale di New York (1939).

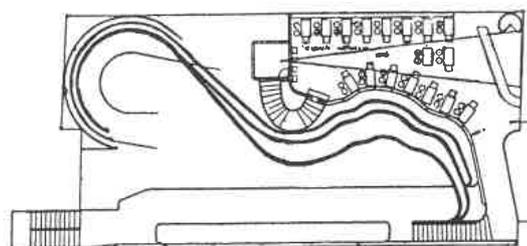
La dimensione sinuosa dell'involucro interno si precisa nella planimetria curvilinea definita da una grande parete ondulata (sostenuta da fili in tensione), che si apre sfrangiandosi in piani sovrapposti a sbalzo, rivestita da listelli di legno di betulla curvati a vapore e ricomposti in serie.

da costruzione, sono in grado di dar vita a espressioni nuove e coerenti" (ivi, p. 18), rompendo i limiti e gli argini dell'ortogonalità. E, come già sosteneva anche Bruno Zevi nei saggi *Verso un'architettura organica* (Einaudi, Torino, 1945) e *Saper vedere l'architettura organica* (Einaudi, Torino, 1948) si definisce una elaborazione progettuale in contrapposizione agli standard artificiali, alle "scatole bianche", alle "forme schematiche e frigide" e al "razionalismo rettangolistico" di gran parte dell'architettura moderna.

La caratteristica dell'espressione neobarocca si articola tra costruzioni definite dall'accidentale aggettare di corpi differenziati e accentuati (ovvero, dalla fuoriuscita dei fronti dal piano e dall'innestarsi di membri plastici gli uni negli altri) e costruzioni estremamente equilibrate, caratterizzate da una concezione architettonica unitaria e omogenea. E tale omogeneità plastica dell'organismo edilizio e delle sue parti si delinea in modo conforme all'orientamento barocco di ridurre le suddivisioni, le ripartizioni formali ed esecutive (tipiche degli stili precedenti), che conducevano spesso a una frammentazione tipologica e costruttiva dell'opera (Zevi, 1945, 1948).

Facciamo ora un excursus tra le "architetture del curvo", a cominciare dall'inizio del secolo scorso. L'espressione neobarocca si rileva, innanzitutto, a partire dalle prime ricerche (scaturite alla fine dell'800) rivolte a una nuova figuratività dell'architettura, in opposizione all'Eclettismo e contro lo storicismo che esaurisce la propria carica di simbolizzazione, ispirandosi al repertorio delle forme naturali: queste consentono, attraverso la flessuosità, la dinamicità, l'ondulata vibrazione degli elementi architettonici che prende corpo all'interno dell'*Art Nouveau* (che genera le varianti internazionali del *Liberty* e dello *Jugendstil*), teorizzata da Henry van de Velde e da Victor Horta.

La concezione neobarocca prosegue attraverso le sperimentazioni formali e costruttive di Antoni Gaudí, ottenute mediante l'attribuzione di forme dinamiche e plastiche ai meccanismi



Eric Mendelsohn, sperimentazioni formali (1914-1921).

L'elaborazione formale rivendica l'unità plastica dell'architettura, o di alcuni volumi a composizione curvilinea, rilevandone sia la "condizione dinamica", definita dai contorni lineari, sia la "condizione ritmica", palesata nella bidimensionalità dei prospetti.

costruttivi e rese possibili dalle impercettibili disposizioni interne delle strutture: la realtà materica che si nasconde al di sotto del lieve spessore di stucco che riveste le forme dell'architettura gaudiana è costituita da volte di mattoni in foglio (le bóvedas tabicadas), mentre le transizioni paraboloidi, iperboloidi o elicoidi sono costituite da intelaiature e giunzioni in ferro, mentre i mattoni sono spezzati per saldare con il gesso dei pezzi più piccoli, dove occorre eseguire le curvature più strette.

La ricerca teorica, inerente alla produzione di forme, tipologie e strutture curvilinee, si concretizza nella linea organica dell'architettura teorizzata da Hugo Häring, sia nel suo scritto *Itinerari verso la forma* in *Die Form* del 1925, sia nelle opere (come *Villa Romer* a Neue Ulm, 1920),

caratterizzate dalla vocazione plastica e movimentata degli elementi che costituiscono l'involucro interno. Allo stesso modo, la ricerca di Hans Scharoun precisa il rapporto organico tra le forme dell'architettura e le loro funzioni, attraverso costruzioni plasmate e fluide dalla figuratività irriducibile alla geometria euclidea, tesa in curve sottili e tridimensionali.

A livello esecutivo, queste considerazioni teoriche si attuano nella concezione costruttiva, altrettanto neobarocca, di tipo monumentale, monolitico e omogeneo elaborata da Eric Mendelsohn e rivolta a combattere l'inerzia della materia, esasperandola in un vortice continuo, comunque secondo modelli strutturali aderenti alla realtà produttiva del periodo.

Mendelsohn traduce il simbolismo espressionista in architettura, come si rileva dalle sperimentazioni formali (che conducono all'*Einsteinturm* a Potsdam, 1921, pensata come

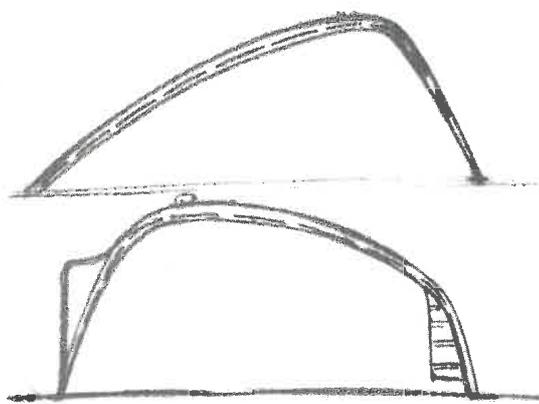


un monolite prodotto da una colata di cemento su una struttura di mattoni), fino alla definizione della "poetica dell'angolo" come strumento per rilevare la condizione dinamica dell'organismo edilizio (eseguita nei Magazzini *Petersdorff* a Breslavia, 1927, e nei Magazzini *Schocken* a Stoccarda, 1928).

L'elaborazione di morfologie curvilinee si delinea, all'interno della successiva ricerca progettuale di Alvar Aalto, secondo una articolazione più equilibrata dei collegamenti organici e plastici tra le parti, mediante profili curvilinei e raccordi avvolgenti per le superfici murarie (come si rileva dalla modellazione continua e sinuosa dell'auditorium interno alla Biblioteca municipale di Viipuri, 1930, fino alle facciate sinusoidali in laterizio facciavista della Casa dello studente del MIT a Cambridge, 1946, e della Casa della Cultura a Helsinki, 1958).

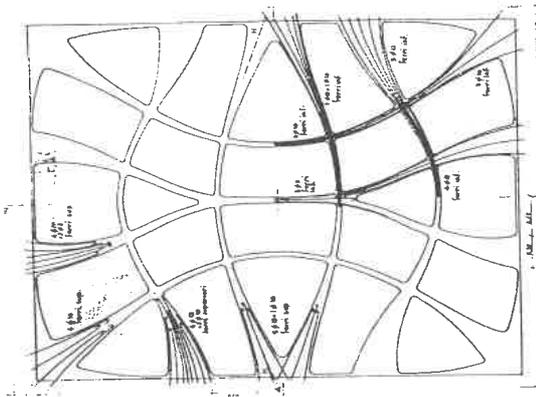
Alla stessa ricerca morfologica curvilinea appartiene il complesso degli uffici della *S. C. Johnson & Son Administration* a Racine (Wisconsin, 1939) progettato da Frank L. Wright, in cui la moderna atmosfera aerodinamica si rileva mediante l'articolazione morfologica di corpi edilizi curvilinei in laterizio e le esili colonne strutturali a fungo in calcestruzzo.

La ricerca di Wright con il Guggenheim Museum a New York (1959), si integra anche allo studio delle "costanti plastiche" curvilinee relative alle costruzioni in calcestruzzo armato espresse dalla dinamizzazione e dalla flessione delle pareti elaborate per la Cappella *Notre-Dame du Haut* a Ronchamp (1955) di Le Corbusier, oltre che dalle composizioni struttu-



Jean Prouvé, elaborazione di componenti di involucro curvilinei.

La progettazione e produzione di sistemi costruttivi prefabbricati si precisa mediante componenti composti multistrato a sagomatura curvilinea, irrigiditi da un telaio intermedio in profilati di acciaio e nervature strutturali a cui si sovrappongono dei fogli di lamiera in alluminio curvato.



Pier Luigi Nervi, elaborazione di sistemi strutturali.

La progettazione di strutture curve in calcestruzzo armato si delinea attraverso la disposizione costruttiva delle specifiche condizioni statiche, che conformano e delineano le sagomature "organiche" individuate secondo la distribuzione delle sollecitazioni interne.

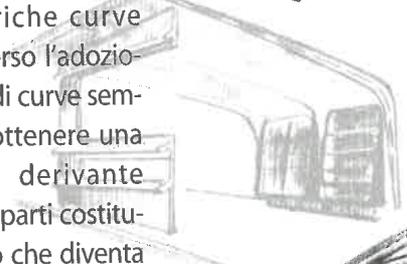
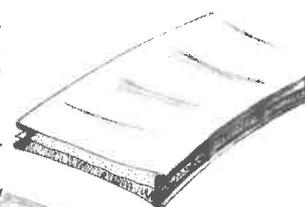
rali di Eero Saarinen e di Pier Luigi Nervi, quale espressione dell'"animo cementizio" e quale materializzazione delle forme date "per effetto delle forme agenti e resistenti".

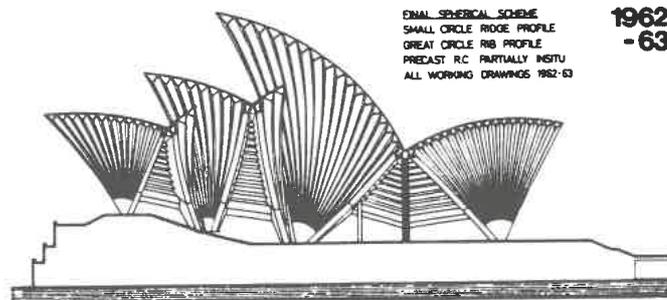
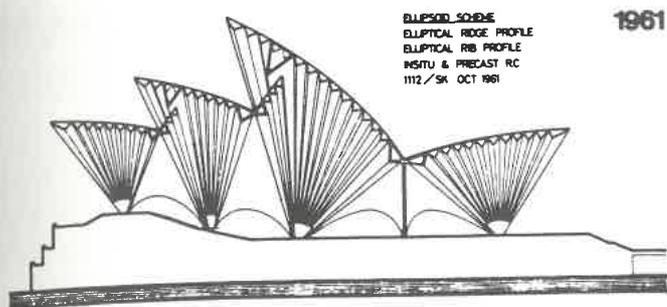
In questi disegni di studio è evidente come Nervi, nella progettazione di determinati solai, abbia sfruttato il concetto delle isostatiche concentrandolo il materiale lungo certe linee privilegiate che corrispondono alle isostatiche stesse. Ne è risultato un solaio a piastra nervata secondo le isostatiche dei momenti flettenti, in cui le tensioni interne suscitate dai carichi, attraverso le linee di flusso, interessano tutta la soletta, riducendo notevolmente le sollecitazioni interne che si producono nella sua massa. La riduzione dei valori unitari di tali tensioni consente notevoli economie di materiali.

Le intenzionalità compositive messe a punto da queste ricerche progettuali e costruttive, analizzate quale espressione "neobarocca" di parte dell'architettura moderna, sono associate dall'obiettivo di ottenere una forma cosiddetta organica, in cui le parti non sono riconoscibili come figure distinte, ma si rilevano come contrazioni, dilatazioni, deformazioni plastiche di un materiale continuo e omogeneo.

Per quanto concerne il passaggio alle sperimentazioni e alle realizzazioni contemporanee, l'adozione di matrici geometriche curve nell'architettura si esplicita attraverso l'adozione di segmenti rettilinei o di tratti di curve semplici variamente raccordate, per ottenere una forma cosiddetta analitica, derivante dall'assemblaggio di elementi o di parti costitutive, riconoscibili nel loro contorno che diventa "giunto" o linea di connessione (come specificato da Gianni Ottolini, *Forma e significato in architettura*, Laterza, Roma-Bari, 1996, pp. 62-64).

Si delinea l'elaborazione di architetture dettate dalla logica costruttiva della forma tettonica e dalla logica sintattica della geometria.





Jørn Utzon, *Opera House, Sydney (1973)*. L'elaborazione formale delle superfici sferiche, costituenti i gusci in calcestruzzo prefabbricato (prodotti ritagliando da una sfera un segmento di tre lati e traendo da questo solido superfici in curva regolarmente ondulate) che racchiudono l'organismo edilizio, consiste nell'applicazione di coperchi in calcestruzzo prefabbricato disposti su una struttura parabolica ad archi in acciaio.

dove la tensione e la carica dinamica della curvilinearità sfocia in forme complesse. E tale elaborazione si precisa attraverso l'identificazione delle regole geometriche e l'uso crescente di ossature strutturali portanti, disegnate seguendo curve spesso complesse: a queste si associa l'impiego di sistemi costruttivi realizzati mediante componenti e pannellature prefabbricate costituite, per quanto possibile, da elementi di forme regolari ripetute e da assemblaggi assolutamente razionali e di tipo modulare.

Questi principi progettuali e costruttivi, integrati nella sintesi di alcune poetiche progettuali e realizzazioni contemporanee, trovano origine, innanzitutto, nello sviluppo delle pareti continue composte e dei sistemi costruttivi prefabbricati di involucro a composizione curvilinea elaborati da Jean Prouvé (scaturiti nella realizzazione dei pannelli di facciata per la Facoltà di Medicina di Rotterdam, 1969), e, successivamente, nella composizione dell'Opera House a Sydney (1973) di Jørn Utzon, dove si verifica la compiuta integrazione tra l'analisi formale geometrica (in questo caso, relativa a superfici sferiche), produttiva e costruttiva.

che), produttiva e costruttiva.

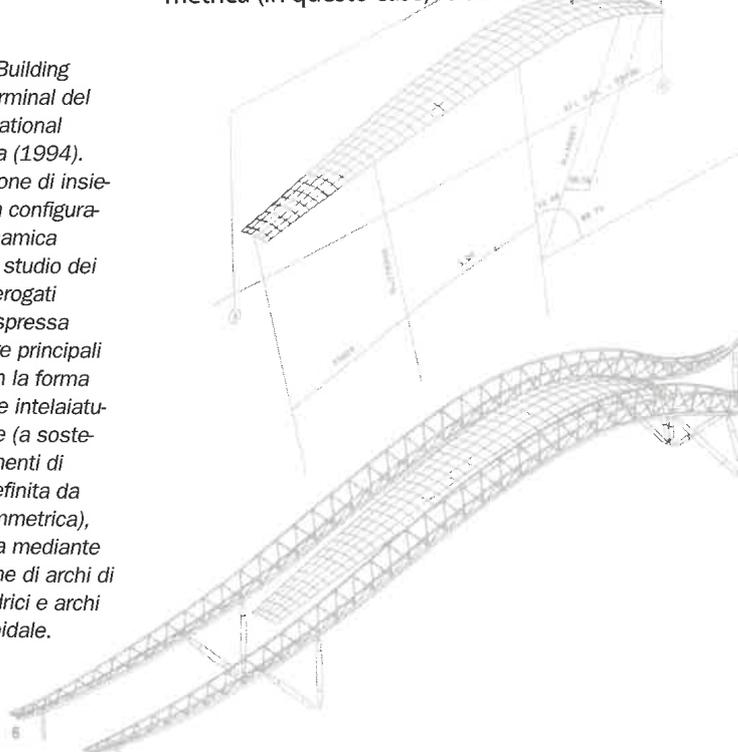
Gli orientamenti teorici e operativi generati da queste realizzazioni anticipano gli sviluppi più recenti, rivolti alla composizione di organismi edilizi o di parti edilizie costituite da sistemi e componenti prefabbricati di involucro (essenzialmente pannellature di facciata o di rivestimento esterno per geometrie e morfologie di concezione plastica e organica).

Ad esempio, tali orientamenti trovano attuazione nella recente ricerca finalizzata alle "nuove dimensioni dell'organico", messe a punto dalle realizzazioni sperimentali del Renzo Piano Building Workshop: si rileva la combinazione di curve toroidali e cilindriche ad avvolgere sia lo shopping center *Bercy 2* a Parigi (1991) sia il terminal del *Kansai International Airport* a Osaka (1994). Altre tipologie di sagomature curve si stanno realizzando per la copertura della Chiesa del *Pellegrinaggio di Padre Pio* a S. Giovanni Rotondo, Foggia (attualmente in costruzione), mentre il sistema di tamponamento del Centro nazionale per la Scienza e la Tecnologia *New Metropolis* ad Amsterdam (1997) segue dei profili conici inclinati verso l'esterno, ed è costituito da pannellature lignee rivestite di rame.

La progettazione di morfologie curvilinee trova attualmente espressione anche nell'elaborazione di "costolature", gusci e sagomature strutturali proprie della poetica di Santiago Calatrava, rivolta a svincolare il calcestruzzo armato dalle leggi statiche, secondo l'obiettivo di proiettare nella costruzione le costanti formative proprie della costituzione antropomorfa, trasfondendole nell'organismo edilizio che acquista così una organicità molto spiccata.

L'esplorazione di queste geometrie curve complesse riflette l'accresciuta applicazione delle potenzialità dei dispositivi informatici per la progettazione e la simulazione tecnico-costruttiva, in grado di definire sia le regole formali che i procedimenti esecutivi, in modo combinato alla precisazione delle parti specifiche fino ai singoli pezzi dell'assemblaggio (di cui si rileva-

Renzo Piano Building Workshop, terminal del *Kansai International Airport, Osaka (1994)*. La composizione di insieme articola la configurazione aerodinamica (basata sullo studio dei flussi d'aria erogati all'interno) espressa dalle travature principali in acciaio con la forma organica delle intelaiature secondarie (a sostegno dei segmenti di copertura, definita da un'onda asimmetrica), ed è ottenuta mediante la generazione di archi di cerchio cilindrici e archi di forma toroidale.



Murature curve in calcestruzzo armato

Le murature curve in calcestruzzo armato si costruiscono mediante l'impiego di gruppi di regolazione capaci di calibrare la curvatura delle casseforme: questi sistemi prevedono il collegamento tra moduli preassemblati tramite morse regolabili, che consentono una connessione precisa e continua permettendo di inserire, bloccandoli, i diversi spessori dei montanti di sostegno alla cassera. Gli stessi sistemi, mediante l'impiego di correnti a snodo puntellati con profile tubolari, supportano la messa in opera di montanti a sostegno di casseforme a a volta.

La ricerca progettuale e produttiva contemporanea riguarda anche l'elaborazione di sistemi e componenti

prefabbricati che realizzano strutture curvilinee in calcestruzzo armato autoportanti: si pone a esempio l'Aircraft Museum a Duxford (Inghilterra, 1998), progettato da Norman Foster & Partners, dove la sagomatura toroidale è composta da travetti prefabbricati curvi in calcestruzzo armato (a T rovesciata), le cui anime seguono e disegnano le fasciature trasversali del guscio su cui si innestano, mediante un getto in opera, delle lastre prefabbricate curve.



Murature curve in calcestruzzo armato realizzate mediante l'impiego di sistemi di cassera industrializzata (Peri).

L'Aircraft Museum a Duxford (Foster & Partners).

Vetri curvati

La curvatura delle lastre di vetro di vario spessore avviene a caldo: il procedimento prevede l'introduzione delle lastre, le cui dimensioni corrispondono allo sviluppo in piano della lastra curva da ottenere, in un forno elettrico o a gas e di riscaldarle fino al rammollimento, in aderenza a uno stampo di supporto.

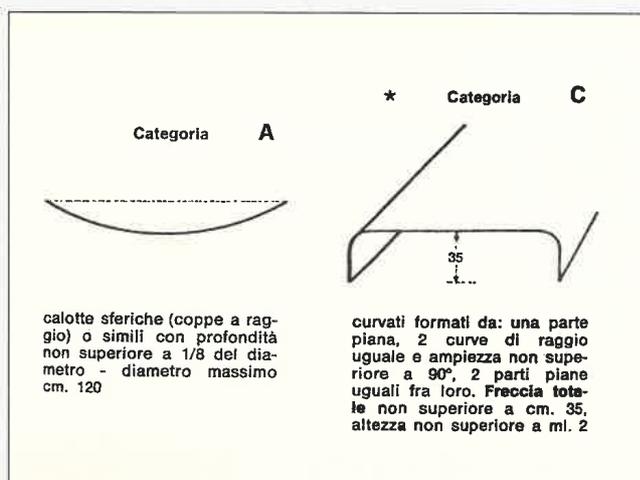
Questo stampo è costituito da un materiale refrattario per curvatures di notevoli dimensioni, o da un materiale metallico per curvatures e pezzi di ridotte dimensioni. La posa in opera va eseguita in telai a battuta libera su lato curvo, considerando le tolleranze indispensabili e la necessità che le lastre di vetro curvate possano restare libere nei loro infissi, senza subire danni per reciproche dilatazioni o deformazioni.

L'architettura contemporanea fa largo uso di lastre vetrate curve mediante dispositivi strutturali

puntiformi; il caso più noto è quello della sede centrale di Channel 4, Londra (1994), progettata da Richard Rogers & Partners, dove le pannellature in lastre di vetro laminato curvato sono distanziate dall'ossatura portante principale e sostenute mediante il sistema strutturale RFR.

A fianco: utilizzo di lastre di vetro curvate in sistemi di facciata (Sunglass; SPS).

Sotto: due esempi di profili di curvatura di lastre vetrate.



Strutture curve in legno lamellare

Le strutture curve in legno lamellare, il cui utilizzo si sta sempre più ampiamente diffondendo, prevedono la realizzazione degli elementi tecnici per lamellazione e incollaggio da tavole di dimensioni ridotte unite testa-testa nel senso della lunghezza e incollate una sull'altra a fibre parallele e orientate secondo l'asse del pezzo ultimato. Per la curvatura degli elementi strutturali a forma di portale o arco il minimo raggio di curvatura ammissibile r dipende dallo spessore s delle lamelle, secondo la relazione $r/s > 160$ per legni resinosi e teneri, e secondo la relazione $r/s > 200$ per legni fronzuti e duri.

Strutture di copertura realizzate mediante impiego di travi curve piene in legno lamellare (Holzbau).

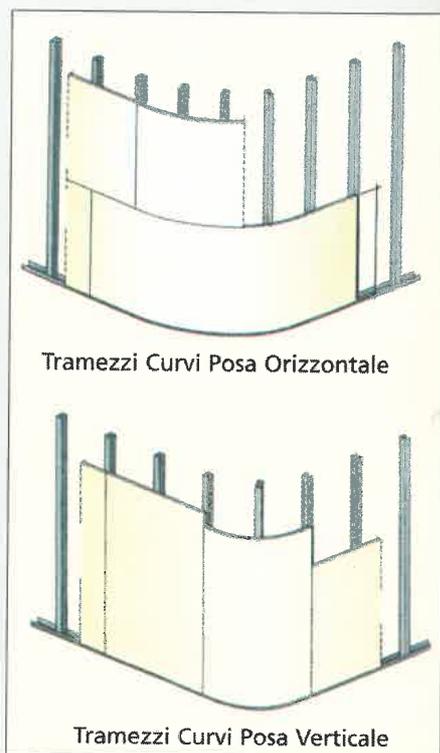


Tramezzature curve in gesso rivestito

La realizzazione delle tramezzature curve avviene mediante la piegatura a lastra bagnata, eventualmente pre-piegata su dima. Per quanto riguarda l'orditura, in generale si piegano i profili standard tagliandoli opportunamente; in alternativa, è possibile utilizzare speciali profili tipo "vertebra".

I montanti devono essere posizionati a distanza molto ravvicinata ($15 \div 20$ cm); le lastre sono poi applicate sull'orditura, a seconda dei raggi di curvatura resi possibili dalla disposizione bagnata o asciutta.

Nel caso della realizzazione di raggi molto stretti (nell'ordine dei $30 \div 40$ cm) si impiegano lastre pre-piegate in dima.



In alto: tipologie di posa di tramezzi curvi realizzati con lastre in gesso rivestito. A lato: due esempi di applicazione (Lafarge Gessi).