

CLS ARMATO

architettura che emerge dalla struttura: un *continuum* possibile grazie ai materiali di ultima generazione e a *software* dedicati

ENRICO SERGIO MAZZUCHELLI, ALBERTO STEFANAZZI



Rolex Learning Center a Losanna. Progetto di Sanaa

MODULO PAROLE CHIAVE

CALCESTRUZZO ARMATO · UHPC
ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE · CALCESTRUZZO AUTOLIVELLANTE · **LIGHT TRANSMISSION CONCRETE** · **LITRACON** · CALCESTRUZZO FOTOCATALITICO

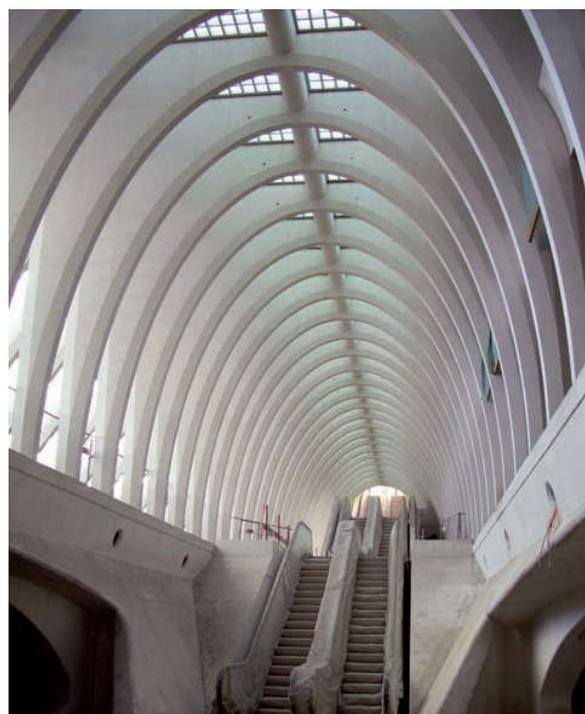


Lucernari per il laboratorio di Roy Lichtenstein a New York. Progetti Caliper Studio



Ilab Italcementi a Bergamo. Progetto di Richard Meier. Bianco a utocompattante, il cls additivato con marmo bianco di Carrara, un mix design che garantisce altissime prestazioni (fotografia di Mario Carrieri).

Le esperienze costruttive del passato legate a queste particolari architetture hanno dimostrato come in nessun'altra applicazione del calcestruzzo armato il progetto, ma soprattutto il corretto funzionamento delle strutture e dell'edificio, sia così tanto influenzato dalle tecniche esecutive adottate per la loro realizzazione. L'evoluzione delle caratteristiche del calcestruzzo è progredita fino ai giorni nostri concependo e sviluppando calcestruzzi di volta in volta sempre più performanti, fino ad arrivare a quelli di nuova generazione, detti UHPC (Ultra High Performance Concrete) in grado di raggiungere elevatissima resistenza meccanica, compattezza, omogeneità, flessibilità, sostenibilità, durabilità, ecc., divenendo al contempo una matrice materica di base integrabile, a seconda delle necessità, al fine di migliorare ulteriormente alcune prestazioni oppure per introdurre di nuove. L'aggiunta di loppa di altoforno o il ricorso a nanotecnologie per l'incremento della resistenza meccanica, l'uso di superfluidificanti per



Stazione ferroviaria di Liegi, Belgio tratta dell'alta velocità TGV Francia, Belgio, Germania. Il progetto dell'arch. Calatrava, prevedeva l'uso di un calcestruzzo gettato in opera di colore bianco che connotasse l'intera stazione con la forma di un grande guscio di vetro sorretto da imponenti arcate, quasi a ricordare le ampie ed imponenti arcate di una cattedrale gotica del XII-XIII secolo.

realizzare getti particolarmente complessi (fino ad arrivare ai calcestruzzi autolivellanti), di fibre ottiche di vetro per strutture portanti semitrasparenti alla luce (Light Transmission Concrete o LiTraCon), di agenti aeranti per calcestruzzi termicamente isolanti, di additivi chimici quali il biossido di titanio per realizzare superfici dalle proprietà fotocatalitiche in grado di abbattere gli inquinanti atmosferici, sono solo alcuni dei risultati fino ad oggi raggiunti dalla ricerca ed ampiamente utilizzati nel settore delle costruzioni. Lo sviluppo delle proprietà caratteristiche del calcestruzzo, in progressione nel tempo, ha, infatti, migliorato ed incrementato i valori di resistenza: i calcestruzzi ordinari possono oggi raggiungere valori di resistenza a compressione di 85 MPa, i fibrorinforzati valori fino a 150 MPa senza particolari trattamenti di maturazione, addirittura di 160-210 MPa se maturati con vapore a 90° o in autoclave, mentre calcestruzzi con resistenze superiori ai 150 MPa sono principalmente impiegati nel settore della prefabbricazione, dove il ciclo di produzione e maturazione è maggiormente controllabile. Anche il miglioramento di durabilità, elasticità, fluidità, facilità di colaggio, plasmabilità, sostenibilità, ecc., viene oggi sfruttato per raggiungere limiti strutturali che consentono la realizzazione di edifici sempre più spinti in altezza, dimensione, forma e geometria.

Un aspetto particolarmente complesso nella progettazione di strutture e coperture in calcestruzzo armato di grandi dimensioni è sempre stato il corretto dimensionamento delle sezioni e i relativi calcoli statici - dinamici di verifica. Il ricorso a modelli, un tempo fisici e in scala, oggi tridimensionali numerici e matematici o sviluppabili tramite specifici software di calcolo, ha fornito la soluzione per il controllo e la verifica delle parti strutturali progettate. Attenzione e cura dei dettagli, scelta dei materiali, definizione delle forme geometriche, modalità di confezionamento e realizzazione del conglomerato cementizio, dimensionamento delle campate di grandi luci e condizioni di illuminamento naturale sono alcuni degli aspetti con i quali i più grandi progettisti si sono dovuti misurare per poter realizzare elementi strutturali dalle forme più complesse, innovative e particolarmente ardite. Oggi l'impiego di software e di metodi di calcolo agli elementi finiti ha reso più approfondite e affidabili le analisi strutturali, che riescono a rappresentare il comportamento di strutture complesse considerando con relativa affidabilità gli effetti secondari, i fenomeni dovuti al ritiro, agli stress termici e alle sollecitazioni di tipo sismico. Le forme con cui oggi giorno possono essere realizzati gusci in calcestruzzo armato sono assai più numerose rispetto al passato (superfici piegate, a singola curvatura o a doppia curvatura, contrapposte, spigolose, etc.), anche se una scelta univoca ed ottimale che individua i criteri generali necessari all'orientamento dei progettisti su una forma piuttosto che un'altra resta comunque difficile.

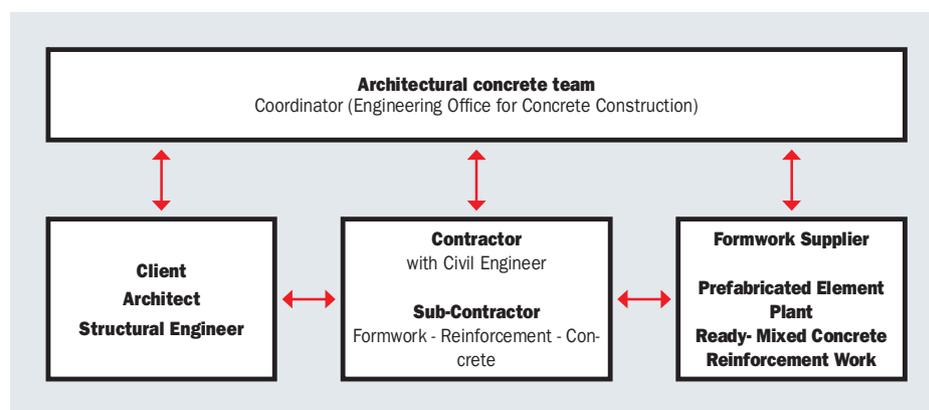


La creazione di forme complesse in cls è presente nell'architettura già con le opere di Nervi ed altri. Nel dopoguerra è iniziato un processo di affinamento delle tecnologie con innovazioni nei sistemi di casseforme, nei processi. Interno del terminal TWA aeroporto JFK, New York.

La complessità della forma quale connubio tra funzione e architettura

Utilizzato dai più grandi maestri dell'architettura del XX secolo, come Le Corbusier, Kahn, Scarpa, Tadao Ando, e da quelli contemporanei quali Calatrava, Hadid, Siza, Balmond, Meier, Herzog e Meuron, e molti altri ancora, il calcestruzzo armato assume un nuovo ruolo trasformandosi da materiale per strutture a materiale per superfici. Esso può essere utilizzato in elementi strutturali e di involucro in un'architettura dalle forme plastiche, morbide e sinuose. Il normale iter per la realizzazione di queste "strutture complesse" inizia con una accurata fase progettuale che, affinandosi passaggio dopo passaggio, sviluppa in ogni dettaglio le tecnologie, gli elementi e le singole parti che compongono l'edificio. Nel caso specifico, avendo gli elementi in calcestruzzo armato sia funzione strutturale che architettonica (a cui si possono poi affiancare numerosi altri materiali quali laterizi, intonaci, vetri, finiture di vario genere, forma e colore, impianti, ecc., e differenti tecnologie costruttive: a secco, a umido, realizzate in opera o prefabbricate), la definizione di sezioni resistenti e geometrie degli elementi strutturali dell'intero edificio è solo il primo "step" della progettazione. Essa si sviluppa in differenti fasi tra loro strettamente concatenate che comprendono scelte progettuali morfologiche e materiche, articolate modellazioni delle strutture, dei componenti, delle prestazioni, integrazioni materiche e di natura impiantistica, etc., al fine di ottenere da un lato adeguati livelli di comfort interno, dall'altro la forma e l'architettura voluta dell'edificio, sia esso caratterizzato da una struttura a guscio oppure da elementi più o meno snelli. Il tutto deve essere poi messo a sistema con le informazioni provenienti dalle altre aree di sviluppo del progetto (chiusure trasparenti, partizioni interne, impianti, finiture, sistema di raccolta acque meteoriche, ecc.). A tal proposito è opportuno ricordare che i grandi quantitativi d'acqua raccolti dalle superfici di copertura devono essere efficacemente raccolti o in appositi canali di gronda integrati nel getto (generalmente protetti da griglie e da rallentatori di flusso aventi la funzione di ridurre la velocità dell'acqua in prossimità dei canali di raccolta ed evitarne il riempimento della sezione in caso di precipitazioni nevose) oppure, nel caso in cui la copertura arrivasse fino a quota terreno, tramite appositi canali o bacini di raccolta acqua che spesso rivestono anche una funzione estetica, scenografica e di arredo urbano.

Dal momento che la struttura dell'edificio diventa parte integrante dell'architettura, essa necessita di una attenta ed accurata progettazione, sia delle modalità costruttive, sia delle finiture superficiali. Tutto questo è possibile tramite il coinvolgimento di particolari figure professionali: la costante condivisione del lavoro e la risoluzione dei problemi che di volta in volta derivano dall'evoluzione del processo di realizzazione, così come indicato in tabella, si dimostra la soluzione più valida ed efficiente per la realizzazione dell'edificio durante le differenti fasi di costruzione.



Soggetti e flusso di informazioni nella progettazione e realizzazione di strutture in calcestruzzo armato di forma complessa. (Formwork Technology for Architectural Concrete - Peri)

Ingegnerizzati, prefabbricati, modulari e ...futuribili: i casseri sono la chiave di volta del progetto

Ogni edificio è un caso unico rispetto a tutti gli altri e pertanto le modalità con le quali creare gli elementi in calcestruzzo armato devono essere analizzate e studiate di volta in volta. Le due principali modalità di realizzazione, la cui scelta è influenzata anche dall'economicità, dalla velocità d'esecuzione e delle modalità di cantierizzazione, prevedono l'utilizzo di casseri più o meno ingegnerizzati, ovvero casseri integralmente realizzati in loco attraverso elementi lignei (dove forma ed estetica finale dipendono quasi esclusivamente dalla maestria dei falegnami/carpentieri che plasmano il contenitore all'interno del quale il getto prenderà forma) oppure casseri costituiti da elementi prefabbricati modulari facilmente assemblabili e componibili a seconda delle differenti esigenze.

Aziende leader nel mercato e proprietarie di diversi sistemi di casseformi assemblabili "ad hoc" per getti di calcestruzzo dalle forme più articolate e complesse, divengono, sia in fase di progettazione che di realizzazione, uno degli interlocutori fondamentali per la concretizzazione dell'opera. Passando dal legno al metallo, senza tuttavia tralasciare elementi di tipo plastico, le casseforme per i getti di calcestruzzo si sono evolute e sempre più specializzate nel tempo. Inizialmente esse erano realizzate per la maggior parte con tavole o pannelli di legno tra loro inchiodati e mantenuti in posizione e forma tramite appositi elementi di ritenzione (cravatte metalliche per pilastri e setti, controventi e puntelli per travi e solai, impalcature lignee per getti più complessi ed articolati), al fine di plasmare la forma e contrastare le spinte prima della presa e dell'indurimento del conglomerato. L'evoluzione naturale delle casseformi tradizionali utilizzate per getti dalle forme semplici (quali pilastri, colonne, murature, travi, solai, coperture) ha portato allo sviluppo di quelle modulari (adatte a creare superfici mosse e complesse, quali murature verticali curve, archi e volte, pilastri, setti e murature inclinate, ecc.), fino a quelle modulanti più evolute, integrabili con ulteriori elementi dalle forme complesse e che consentono di ottenere getti con forme spaziali tridimensionali e dotate, ove necessario, di aperture per l'inserimento di serramenti, passaggi impiantistici o vuoti architettonici.

La tendenza odierna, sia che si tratti di casseri di tipo rampante oppure di tipo più tradizionale, che richiedono cioè un appoggio alla base ed elementi primari e secondari di sostegno, prevede che i pannelli per il contenimento del getto di calcestruzzo vengano preventivamente realizzati in officina al fine di minimizzare gli sfridi e di ottimizzare la loro produzione. Composti mediante pannelli di legno del tipo multistrato a fibre incrociate oppure pannelli metallici posti su intelaiatura metallica o metallo-lignea, i casseri sono normalmente dotati, nella zona di interfaccia con il calcestruzzo, di un materassino sintetico a basso spessore che ha il compito di uniformare la superficie del getto e agevolare le operazioni di

Da sinistra:

Una tipologia di cassero tradizionale in legno (pannelli lignei multistrato a fibre incrociate e chiusura meccanica mediante cravatte per contrastare la spinta idrostatica esercitata dal getto in calcestruzzo).

Cassaforma con supporto metallico, elementi lignei realizzati ad hoc e rivestimento con materassino sintetico anti-aggrappo (Peri)

Un sistema prefabbricato a moduli (struttura principale in profili metallici con pannelli in legno o metallo, tra loro interconnessi e controventati all'esterno).

Nella pagina a fianco, esempi di matrici in elementi di polistirene ad alta densità, oppure in rotoli di gomma, applicati all'interno dei casseri mediante incollaggio o fissaggio meccanico, atti a conformare superficialmente il getto di calcestruzzo (Coplan)





rimozione dei casseri a getto indurito (talvolta la superficie del cassero è trattata con olii disarmanti che riducono notevolmente l'adesione chimica del conglomerato cementizio alla superficie del cassero, agevolando così le operazioni di scasseratura). La superficie interna dei casseri assume un'importanza fondamentale anche per la formazione di particolari decorazioni superficiali, talvolta richieste dai progettisti. Tralasciando le colorazioni del calcestruzzo, ottenibili tramite tinteggiature superficiali post realizzazione oppure mediante inserimento all'interno del mix design di coloranti, ossidi ed altri appositi materiali di pigmentazione, le decorazioni consistono di norma in piccole lavorazioni e tessiture superficiali del materiale ottenibili tramite particolari accorgimenti adottabili sulla superficie interna dei casseri. Il risultato è che la superficie del calcestruzzo può essere totalmente liscia e priva di lavorazioni oppure irruvidita, quasi fosse bocciardata o strollata, con disegno regolare o casuale, tipo riproposizione di sezioni di muraure in pietra, ciottoli o similari, venature del legno, fiori, piante, e molti altri ancora, sino ad arrivare alla realizzazione di veri e propri bassorilievi. Per ottenere ciò, prima della posa in opera delle armature e del getto del conglomerato cementizio, all'interno dei casseri vengono posizionate mediante incollaggio o fissaggio meccanico delle dime o matrici atte a ottenere gli effetti voluti sulla superficie del calcestruzzo. Le dime, facilmente recuperate e riutilizzate, possono essere costituite da teli plastici o in gomma, tessuti metallici, elementi lignei, plastici, in polistirene o metallo, ecc., i quali, dopo esser state adeguatamente fissati ai casseri, "plasmano" la superficie del getto di calcestruzzo imprimendone forme e effetti di finitura voluti. Particolare attenzione progettuale ed esecutiva va posta nei casi in cui le lavorazioni superficiali possiedano un'elevata profondità rispetto al filo superficiale del getto (gap di oltre 20-25 mm), in quanto gli spessori di copriferro potrebbero localmente non essere più idonei a garantire la protezione delle armature dall'ambiente esterno (tale aspetto deve pertanto essere attentamente valutato sin dalle prime fasi di definizione delle decorazioni degli elementi in calcestruzzo).

Ulteriore e fondamentale aspetto con cui confrontarsi per la realizzazione degli elementi in calcestruzzo armato è la scelta di ricorrere ad elementi gettati in opera oppure del tipo prefabbricato e assemblato successivamente in cantiere. Località, vie d'accesso, estensione del cantiere, durata della realizzazione, modularità e ripetibilità di forme e/o lavorazioni superficiali complesse (tipo pannellature tra loro simili se non uguali per dimensioni, fattezze e lavorazioni), convenienza economica, ecc., sono i fattori primari che influenzano la scelta di realizzare in opera oppure prefabbricare. Dal momento che ogni singolo cantiere è un caso a sé, questo aspetto deve essere valutato di volta in volta per ottimizzare tempi, costi e sfruttamento delle risorse.

Di seguito sono descritti e illustrati alcuni esempi di edifici che coniugano l'ingegneria e la tecnologia più avanzata e innovativa con forme di particolarmente complesse e nuove di edifici di recente realizzazione, divenuti simboli delle nuove architetture con geometrie non convenzionali.